Separazione degli isotopi dell'uranio

Dopo oltre dieci anni di produzione di energia elettronucleare, l'uranio-235 si è rivelato l'elemento fissile piú idoneo per l'utilizzazione pratica nei reattori nucleari. Come si produce questo isotopo?

di Piero Caldirola

Attualmente la grande maggioranza delle centrali elettronucleari in esercizio utilizzano uranio debolmente arricchito nel suo isotopo leggero. Pur essendo prevedibile che in un futuro prossimo l'uranio-235 possa essere sostituito, almeno in parte, da elementi fissili artificiali, come il plutonio o l'uranio-233, è convinzione largamente condivisa che le necessità di uranio-235 a scopi civili aumenteranno sensibilmente nel prossimo ventennio. È da ritenersi quindi che, com'è stato affermato anche recentemente in numerosi convegni, il mondo, e in particolare l'Europa, dovrà provvedere a garantirsi una produzione adeguata di uranio arricchito.
In questa prospettiva, negli ultimi tempi si è assistito al rifiorire, in diversi paesi, di studi nel campo della separazione isotopica dell'uranio. Tali studi riguardano sia la ricerca di procedimenti nuovi di separazione sia l'approfondimento e il miglioramento delle tecniche, già note, che intervengono nell'unico metodo di separazione finora usato su scala industriale, ovverosia quello per diffusione gassosa attraverso membrane o barriere porose.
In questo articolo ci limiteremo ad esporre brevemente i princípi fondamentali su cui si fondano i metodi di separazione oggigiorno ritenuti d'interesse pratico e a dare un rapido cenno ad alcuni indirizzi di ricerca, nel campo della separazione isotopica, che sembrano oggi attirare l'interesse maggiore da parte dei ricercatori.

Isotopi dell'uranio

Com'è noto, sono detti isotopici i nuclei atomici costituiti dallo stesso numero di protoni, ma da un diverso numero di neutroni, cioè i nuclei che hanno uguale carica elettrica (positiva), ma differente massa.
Gli isotopi di un dato elemento hanno praticamente le stesse proprietà chimiche, in quanto tali proprietà sono determinate dal numero e dalla distribuzione degli elettroni che circondano il nucleo, cioè da entità fisiche che dipendono essenzialmente dalla carica elettrica e non dalla massa nucleare. In generale non è quindi possibile separare gli isotopi di un elemento con i metodi della chimica tradizionale, ma è necessario ricorrere a procedimenti che sfruttino le lievi differenze nelle proprietà fisico-chimiche derivanti dalla diversità di massa.
L'uranio naturale è una mescolanza di tre isotopi:
^{238}U = 92 protoni + 146 neutroni (99,28% circa dell'U naturale)
^{235}U = 92 protoni + 143 neutroni (0,715% circa dell'U naturale)
^{234}U = 92 protoni + 142 neutroni (0,005% circa dell'U naturale)
Come si vede, l'isotopo piú pesante costituisce il componente largamente prevalente, mentre il ^{234}U è presente in quantità trascurabile. Il problema della separazione isotopica dell'uranio è quindi prevalentemente centrato sulla separazione dall'isotopo pesante 238 dell'isotopo leggero 235. Quest'ultimo infatti è l'isotopo « fissionabile » che interessa l'utilizzazione energetica in quanto - per interazione con un neutrone - dà luogo alla reazione di fissione, cioè alla scissione del nucleo con liberazione di una grande quantità di energia e di un certo numero di neutroni, i quali possono a loro volta, in condizioni opportune, dare inizio ad altre fissioni, innescando una reazione a catena. Oltre a quelli esistenti in natura, esistono altri isotopi dell'uranio prodotti artificialmente in varie reazioni nucleari. Per quanto riguarda la separazione, l'isotopo artificiale di maggior interesse pratico è il ^{236}U, inevitabilmente prodotto nei reattori nucleari che usano il ^{235}U come materia fissionabile (in media su 7 nuclei di ^{235}U che interagiscono con i neutroni termici, 6 subiscono la fissione e uno si trasforma in ^{236}U). Quando gli impianti di separazione, anziché con uranio naturale, sono alimentati con il combustibile esaurito scaricato dai reattori nucleari, la presenza del ^{236}U aumenta la difficoltà e quindi il costo della separazione del ^{235}U.
Per quanto riguarda la produzione di energia, l'unico isotopo artificiale fissionabile dell'uranio è il ^{233}U, prodotto per irraggiamento neutronico del torio nei reattori convertitori. Nei reattori nucleari anche una certa quantità di ^{238}U dà origine, per irraggiamento con neutroni, ad un isotopo fissionabile del plutonio, il ^{239}Pu (separabile dall'uranio con metodi chimici).
^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu sono attualmente i soli materiali utilizzabili per le reazioni di fissione.
I tre combustibili nucleari non hanno tuttavia uguali prospettive di impiego a breve scadenza di tempo.
Per varie ragioni si ritiene che, per un periodo di tempo non troppo breve, il combustibile nucleare di piú vasto impiego debba essere costituito dall'uranio-235. Il ^{235}U può essere utilizzato anche nelle proporzioni contenute nella miscela isotopica naturale, ma l'impiego di uranio arricchito artificialmente in ^{235}U, oltre ad essere necessario nei reattori nucleari destinati ad usi particolari, viene oggi generalmente ritenuto piú conveniente anche nei reattori di potenza destinati alla

produzione di grandi quantità di energia elettrica.

Principi della separazione isotopica

Da un punto di vista teorico è possibile applicare alla separazione degli isotopi molti metodi diversi che sfruttano differenze di massa atomica e molecolare, differenze di rapporto tra carica elettrica e massa degli ioni, differenze nei momenti magnetici nucleari e, in generale, tutte le differenze di interazione molecolare che hanno luogo nei cambiamenti di stato fisico e chimico. In pratica molti fattori riducono sensibilmente il numero dei metodi utilizzabili. Nel caso dell'uranio la scelta è fortemente risentita dalle proprietà fisico-chimiche di questo metallo. Infatti il suo alto punto di fusione rende piú conveniente, per effettuare la separazione isotopica, l'utilizzazione di composti aventi proprietà piú favorevoli del metallo. Nei procedimenti attualmente di maggior interesse industriale viene usato esclusivamente l'esafluoruro di uranio (il fluoro è costituito dal solo isotopo 19), che presenta però il grave inconveniente di un'azione tossica e corrosiva molto violenta (allo stato gassoso nel quale è utilizzato).
Per valutare l'entità della separazione che i diversi procedimenti permettono di conseguire, è necessaria una breve precisazione. In una miscela isotopica binaria (come la miscela ^{235}U-^{238}U) viene chiamata abbondanza R dell'isotopo desiderato (^{235}U nel nostro caso) il rapporto tra la percentuale di ^{235}U e la percentuale di ^{238}U. In linea di principio, il tipo piú semplice di dispositivo operante la separazione di una miscela binaria può essere schematizzato come un congegno a tre aperture:
— un'entrata di alimentazione attraverso la quale si ha l'afflusso di una certa quantità Q di miscela da separare, ad abbondanza R di ^{235}U;
— un'uscita dalla quale si estrae una certa frazione arricchita tQ della quantità immessa (cioè una frazione contenente un'abbondanza R' maggiore di R di ^{235}U);
— un'uscita dalla quale si estrae la rimanente frazione impoverita (1 - t)Q della quantità immessa (cioè una frazione contenente un'abbondanza R" di ^{235}U minore di R).
Il grado di arricchimento conseguito attraverso il congegno descritto viene espresso come rapporto tra R' e R, e chiamato « fattore di arricchimento ». La separazione ottenuta tra le frazioni estratte alle due uscite viene espressa come rapporto tra R' ed R", rapporto detto appunto « fattore di separazione ». Quando non ci si preoccupa del costo della separazione è in generale possibile ottenere fattori di arricchimento elevatissimi mediante un unico congegno o elemento separatore. È questa la caratteristica essenziale dei metodi di separazione elettromagnetica che sono stati, in ordine di tempo, i primi ad essere sperimentati per la separazione del ^{235}U in quantità sufficiente a permettere lo sviluppo di una reazione nucleare a catena. Questi procedimenti, enormemente dispendiosi, sfruttano le diversità di comportamento individuale delle molecole isotopiche, cioè le diverse traiettorie degli ioni isotopici sottoposti all'azione di un campo elettromagnetico.
La maggior parte dei procedimenti sfrutta invece la diversità di comportamento statistico delle molecole isotopiche. Questi metodi, però, nel caso di isotopi pesanti, permettono di ottenere in un unico elemento separatore solo fattori di separazione molto modesti. Per ottenere l'arricchimento desiderato è quindi necessaria la ripetizione del procedimento elementare in un numero molto grande di elementi separatori (o stadi di separazione) connessi in serie. Questa necessità dà origine ai grandi impianti a cascata, caratteristici della separazione isotopica. Molti e fondamentalmente diversi sono i metodi a tutt'oggi sperimentati per la separazione isotopica dell'uranio. Tuttavia, per una visione panoramica degli aspetti piú significativi del problema, possono bastare una rapida sintesi dei princípi e delle realizzazioni essenziali inerenti ai due procedimenti attualmente di maggior interesse industriale, e un brevissimo cenno sugli orientamenti attuali nel campo della ricerca di nuovi perfezionamenti e procedimenti.

Schematizzazione del piú semplice tipo di elemento separatore per una miscela binaria (ad esempio, ^{235}U e ^{238}U). Dall'apertura di alimentazione viene immessa una certa quantità Q di miscela, ad abbondanza R di ^{235}U, da cui si estrae una frazione arricchita tQ ad abbondanza R' di ^{235}U e una frazione impoverita (1-t)Q ad abbondanza R" di ^{235}U.

Diffusione gassosa

Gli impianti di separazione isotopica attualmente in funzione nei cinque paesi che producono uranio arricchito (Stati Uniti, Russia, Inghilterra, Francia e Cina) utilizzano unicamente il procedimento della diffusione gassosa. Il principio sul quale il procedimento è basato è molto semplice. Supponiamo di avere un recipiente contenente una miscela di due gas le cui molecole hanno massa differente. In accordo con il principio di equipartizione dell'energia della teoria cinetica dei gas, le molecole delle due specie hanno la stessa energia media di traslazione $\frac{1}{2}$ mv². Pertanto le molecole piú leggere hanno in media una velocità maggiore di quella delle molecole pesanti e quindi urtano un maggior numero di volte le pareti del recipiente. Se una delle pareti è costituita da un setto poroso comunicante con un recipiente vuoto, le molecole piú leggere hanno probabilità maggiori di infilarsi nei pori del setto e di attraversarlo. Se i pori del setto sono di diametro sufficientemente piccolo, dopo un intervallo di tempo abbastanza breve la composizione della miscela nei due recipienti divisi dal setto poroso risulterà diversa: cioè si sarà verificata una separazione dei due gas per diffusione attraverso la barriera porosa. Il fattore teorico massimo di arricchimento ottenibile con questo procedimento risulta dato dalla radice quadrata del rapporto tra le masse molecolari dei due gas.
Nel caso della miscela isotopica dell'esafluoruro di uranio (di cui i componenti da separare hanno peso molecolare rispettivamente 352 e 349) il fattore di arricchimento teorico è pochissimo diverso dall'unità (1,0043). Questo significa che, anche se non si riutilizza il materiale impoverito uscente dal primo stadio dell'impianto di separazione, occorrono in pratica, partendo dalla miscela isotopica naturale, almeno 800 stadi successivi per ottenere uranio arricchito al 3% di ^{235}U, e parecchie migliaia di stadi per ottenere uranio al 90% di ^{235}U. La necessità economica di utilizzare al massimo l'isotopo 235 contenuto nell'uranio naturale impone però l'installazione, accanto alla sezione d'impianto destinata all'arricchimento vero e proprio, di una sezione di ricupero, costituita da varie centinaia di stadi, il cui scopo è quello di ridurre al minimo il tenore di ^{235}U del materiale di scarto. Questo può dare un'idea della vastità degli impianti di separazione isotopica, ma non della vastità dei problemi tecnici e tecnologici connessi con il dimensionamento ottimo e la realizzazione industriale di un impianto efficiente.
Uno dei problemi essenziali dell'ottimizzazione di un impianto a diffusione è costituito dalla scelta del regime di pressione a monte e a valle delle barriere porose. Infatti la necessità di ottenere la massima portata utile impone il mantenimento a monte delle barriere della massima pressione compatibile con il regime separativo consentito dalle assai piccole dimensioni dei pori delle barriere (tale pressione risulta generalmente inferiore a quella atmosferica). Il problema è prevalentemente centrato sulla scelta della pressione a valle delle barriere. Tanto minore è questa pressione, tanto maggiore è il fattore di separazione ottenibile, ma, allo stesso tempo, tanto maggiore è l'energia necessaria a ricomprimere il gas diffuso prima di immetterlo nello stadio successivo. E poiché l'energia assorbita dall'impianto è in grandissima parte l'energia assorbita dai compressori, e inoltre il costo dei compressori stessi aumenta fortemente con l'aumentare della loro capacità volumetrica, è evidente che la scelta di un intelligente compromesso per il regime di pressione condiziona strettamente l'efficienza economica dell'impianto.
A considerazioni di questo genere sembra si debba far risalire la forte discrepanza che esisterebbe, secondo dati di stampa, tra il costo dell'impianto francese di Pierrelatte e di quello inglese di Capenhürst.
Tra i problemi costruttivi inerenti ai componenti di un impianto, i piú notevoli sono costituiti dalla produzione in serie di compressori efficienti (la cui importanza risulta da quanto si è già detto) e di barriere porose adeguate. La produzione di barriere porose, date le eccezionali prestazioni che ad esse sono richieste e l'enorme superficie di esse utilizzata negli impianti (piú di un milione di m² per un impianto di dimensioni modeste), può essere considerata il problema fondamentale inerente alla realizzazione dell'impianto.

Un sistema molto semplice per separare due gas le cui molecole abbiano massa diversa è quello della diffusione gassosa: le molecole piú leggere, in media piú veloci di quelle piú pesanti, hanno maggior probabilità di infilarsi nei pori del setto e di attraversarlo.

Queste barriere infatti devono avere pori con diametro medio dell'ordine del centesimo di micron, e in numero di qualche milione per cm² (cosí da conferire alla barriera un'elevata permeabilità); devono resistere alla corrosione dell'esafluoruro di uranio e, possibilmente, all'azione dell'acido fluoridrico; devono avere caratteristiche omogenee ripetibili in produzione di gran serie; devono infine risultare di facile montaggio negli impianti industriali e non essere troppo fragili. Tutti questi requisiti rendono evidentemente difficile la realizzazione pratica di barriere efficienti a costi non proibitivi.
Malgrado la complessità dei problemi costruttivi e la grande quantità di energia assorbita, che si traducono in elevati costi d'impianto e di produzione, il procedimento di arricchimento isotopico dell'uranio per diffusione gassosa rimane a tutt'oggi il procedimento industriale piú sicuro e, almeno per produzioni su scala molto vasta, economicamente piú conveniente.
Il procedimento in sé è ancora suscettibile di notevoli perfezionamenti tecnologici, anche se non sembra molto lontano dal raggiungimento delle massime possibilità consentite dai princípi sui quali è fondato. Di qui l'interesse per la ricerca di nuovi procedimenti, uno dei quali, la ultracentrifugazione, sembra avere già raggiunto una parziale competitività rispetto alla diffusione gassosa.

Centrifugazione

Il principio sul quale si basa la separazione isotopica mediante ultracentrifughe a gas è abbastanza noto, almeno per quanto riguarda l'effetto elementare. In queste macchine, infatti, per l'azione del campo centrifugo si stabilisce un flusso radiale di gas (verso la periferia) che provoca a sua volta una corrente diffusiva verso l'asse del rotore, tendente ad eguagliare il gradiente di concentrazione. Come risultato, le molecole piú pesanti tendono ad accumularsi verso la periferia, le piú leggere al centro. Il fattore di separazione teorico risulta una funzione della differenza di massa delle molecole e del quadrato della velocità periferica di rotazione della centrifuga.
Uno dei vantaggi teorici fondamentali è proprio questa dipendenza dalla differenza di massa (anziché dal rapporto tra le radici quadrate delle masse, come avviene nella diffusione gassosa). Inoltre, la velocità periferica di rotazione può essere aumentata fino ai limiti consentiti dalla resistenza dei materiali. Allo stato di sviluppo attuale non è difficile realizzare centrifughe aventi un coefficiente di separazione

(differenza tra il fattore di separazione e l'unità), dieci volte maggiore di quello ottenibile con il procedimento della diffusione gassosa (per la separazione isotopica dell'uranio). Questo significa - sempre nel caso di isotopi pesanti - la possibilità di ridurre circa dieci volte il numero di stadi necessari per operare una determinata separazione. Inoltre, nelle centrifughe a controcorrente interna (le piú efficienti fino ad oggi realizzate) il fattore di separazione elementare può essere sensibilmente aumentato per effetto di un flusso controcorrente verticale, solitamente ottenuto mantenendo un'opportuna differenza di temperatura tra le estremità del rotore. La circolazione del flusso in queste macchine è schematizzata nella figura in questa pagina.
L'aumento del fattore di separazione in queste macchine risulta proporzionale alla lunghezza del rotore.
Tuttavia la necessità di stabilizzazione meccanica ed effetti di risonanza limitano strettamente tale lunghezza (non è nota la realizzazione di rotori aventi una lunghezza superiore a 120 cm). Infine l'assorbimento teorico di energia richiesto dalla separazione per centrifugazione è enormemente piú piccolo di quello richiesto dalla diffusione gassosa. Sul piano teorico quindi il procedimento della centrifugazione presenta notevoli vantaggi rispetto alla diffusione gassosa. Sul piano della realizzazione pratica tali vantaggi sono però fortemente ridotti dalle perdite assai elevate di energia per attriti, dalle notevoli difficoltà di ordine tecnologico connesse all'ininterrotto funzionamento di decine di migliaia di centrifughe ruotanti a velocità periferica supersonica (o di poco inferiore) ed all'aggravarsi - nella connessione di tante macchine in movimento - dell'importanza dei problemi di tenuta causati dall'azione corrosiva dell'esafluoruro di uranio.
I risultati conseguiti con la centrifugazione dopo il 1960 sono oggetto del piú stretto riserbo (e protetti dal segreto militare) nei paesi occidentali piú progrediti in questo campo (Germania, Olanda, Inghilterra e Stati Uniti).
Sulla base di una valutazione francese (effettuata nel 1964 e basata sulle esperienze eseguite in Francia) dei costi comparati dell'uranio arricchito per diffusione gassosa e per centrifugazione, si arriverebbe alla conclusione che allo stato attuale il procedimento risulta economicamente conveniente solo per produzione di entità piuttosto modesta. L'andamento del prezzo dell'uranio arricchito in funzione della grandezza dell'impianto per i due procedimenti considerati è illustrato in questa pagina. Appare evidente la piú rapida diminuzione del costo del prodotto con l'aumento della quantità del prodotto stesso per la diffusione gassosa.
La valutazione comparativa francese potrebbe risultare oggi inadeguata, ma - mancando l'esperienza di una produzione su scala industriale - la realizzazione di un grande impianto di separazione isotopica dell'uranio per centrifugazione presenta tuttora delle incognite. Il largo margine di vantaggi teorici rispetto alla diffusione gassosa lascia tuttavia prevedere vaste possibilità di affermazione della centrifugazione parallelamente ai progressi delle tecnologie implicate nella sua realizzazione.

Costi comparati dell'uranio arricchito al 3% per diffusione gassosa e per centrifugazione. (P = produzione di U al 3% in t/anno di UF_6). Questi dati si riferiscono a una valutazione francese compiuta nel 1964, e i costi sono perciò espressi in franchi (1 franco francese è pari a circa 125 lire). Allo stato attuale delle ricerche la produzione di uranio arricchito per centrifugazione è conveniente soltanto per produzioni di modesta entità.

Sezione schematica di una centrifuga a controcorrente interna. Il gas arricchito di ^{235}U esce dalla parte superiore della centrifuga, mentre il gas di scarto viene raccolto in basso.

Orientamenti attuali nella ricerca

Nel campo della separazione isotopica dell'uranio, le ricerche attualmente in corso hanno prevalentemente per oggetto l'acquisizione di perfezionamenti relativi ai due procedimenti di maggior interesse industriale, e particolarmente per la centrifugazione.
Tuttavia, soprattutto nei paesi non ancora provvisti di impianti di separazione, una parte degli sforzi è rivolta alla ricerca e alla verifica delle possibilità effettive di altri procedimenti finora studiati solo sotto il loro aspetto puramente scientifico. Un siffatto indirizzo viene seguito soprattutto dal Giappone che in questi ultimi anni ha condotto un vasto programma di studi e ricerche, la cui intensificazione è stata annunciata molto recentemente. Una delle ricerche in atto è lo studio della possibilità di associazioni di differenti procedimenti elettrochimici (che applicati singolarmente conducono a separazioni di scarso interesse pratico) per ottenere, in un procedimento praticamente realizzabile, un effetto separativo globale tale da giustificare un interesse di sviluppo industriale. Un altro studio - di cui non si può ancora valutare l'interesse pratico - è quello degli effetti isotopici che si verificano nella diffusione superficiale delle molecole assorbite sulle pareti interne dei mezzi porosi. Tale studio interessa la efficienza delle barriere nella diffusione gassosa, ma può essere concepito - in linea di principio - come un metodo di separazione indipendente.

Il potere sociale dei negri negli Stati Uniti d'America

Perché i negri, diversamente da altri immigrati, quali italiani e irlandesi, non sono riusciti ad affermarsi come gruppo di potere sociale? La causa di ciò è l'inconscia disunione esistente tra gli stessi negri.

di James P. Comer

L'espressione « black power » (potere nero) è fonte di vivaci polemiche negli Stati Uniti. Fu introdotta, in un'atmosfera particolarmente accesa, in occasione della marcia di protesta guidata da James Meredith attraverso lo Stato del Mississippi nel giugno del 1966, e da molte parti è ritenuta sinonimo di violenze e sommosse. Il termine perciò urta alcuni bianchi amici dei negri, provoca spavento o ira in altri e induce molti negri, timorosi della disapprovazione dei bianchi, a respingerla senza considerarne il contenuto razionale e il valore. Tuttavia una qualche forma di potere nero può rivelarsi di importanza essenziale. L'esperienza dei negri americani, suffragata da numerosi studi storici e psicologici, fa pensare che le necessità profonde dei negri piú poveri, piú alienati, non possano essere soddisfatte - e quindi non si possa por fine all'attrito razziale - se non attraverso l'influenza esercitata da una comunità negra unita e bene organizzata, dotata di un vero potere politico ed economico.

Ci si domanda perché gli sforzi dei negri per raggiungere un maggior grado di unità e di potere sono considerati inutili e, anzi, pericolosi, da tanti, sia negri che bianchi, sia amici che nemici. La risposta è nella mancata valutazione da parte della maggioranza degli americani delle funzioni di un « potere di gruppo », e quindi delle conseguenze politiche ed economiche che ne derivano. Il mito del « crogiuolo di razze » ha posto in ombra la funzione decisiva del potere di gruppo nell'adattamento dei vari gruppi etnici bianchi immigrati negli Stati Uniti. Di fronte alle discriminazioni, allo sfruttamento e agli insulti, gli immigrati si rinchiusero in se stessi. Forti psicologicamente del proprio retaggio culturale, essi mantennero istituzioni familiari, religiose e sociali dotate di grande capacità stabilizzatrice, mentre le istituzioni, a loro volta, favorirono la coesione dei gruppi etnici. La stabilità delle famiglie e l'unità dei gruppi favorirono l'accesso al meccanismo della politica, ai posti di lavoro nell'industria e, grazie alle occasioni offerte dall'espansione nel Far West, condussero alla formazione di determinate forze sociali: gli immigrati ebbero diritto di voto, acquistarono influenza politica, divennero proprietari terrieri o intrapresero attività commerciali e industriali. Contemporaneamente, l'influenza acquistata dai gruppi etnici estese le possibilità individuali, cosí che nel giro di una o due generazioni la maggior parte degli immigrati pervenne al pieno godimento dei propri diritti di cittadini.

L'esperienza negra è stata assai diversa, come cercherò di dimostrare. Gli effetti traumatici del distacco forzato dall'Africa, lo stato di schiavitú e la mancanza, anche dopo l'emancipazione, di possibilità di conquiste politiche ed economiche hanno provocato in seno alla comunità negra l'insorgere di forze psicologiche e sociali disgregatrici. Una azione coordinata di gruppo, certamente opportuna per la minoranza disprezzata, non si è mai effettivamente verificata: assai di rado i negri hanno agito in modo compatto ed efficace contro la discriminazione e lo sfruttamento. Queste piaghe hanno condotto alla formazione, in seno al gruppo etnico negro, di una minoranza non trascurabile (certo sproporzionatamente vasta se posta a confronto con altri gruppi etnici) di persone povere, prive di istruzione e sostanzialmente distaccate dal corpo della nazione. Questa travagliata minoranza ha adottato uno « stile » di vita autodistruttivo, causa di insuccessi a ripetizione: tale condizione e le conseguenti reazioni sono alla base dell'ininterrotto conflitto razziale che affligge l'America. Soltanto una comunità negra potente e decisa può aiutare i membri della sua disgraziata minoranza a realizzare le proprie possibilità, placando cosí l'inquietudine razziale. L'importanza di un « potere nero » diventa piú comprensibile alla luce delle correlazioni esistenti tra disunione, difetto di potere e segregazione.

Le radici della disunione dei negri affondano in terra africana. È importante ricordare che i contingenti di schiavi importati dall'Africa provenivano da numerosi gruppi etnici e da molte tribú diverse per lingua, usanze, tradizioni e costumi. Alcuni erano agricoltori, altri cacciatori e primitivi « raccoglitori », altri mercanti. Esistevano antiche animosità, che furono esacerbate dallo stesso sistema della tratta degli schiavi. Ancor oggi sopravvivono questi odii tribali, in Nigeria ad esempio, dove i secolari conflitti tra Ibo, Hausa e Yoruba stanno disgregando l'unità nazionale: un elevato numero di schiavi apparteneva proprio a queste tribú.

Il potenziale di coesione degli schiavi tra loro, già scarso all'inizio, divenne anche piú debole con la dissoluzione dei gruppi familiari, che in Africa avevano già stabilito le funzioni dei singoli e le relazioni tra loro. Si può ritenere che se gli Africani si fossero stanziati in America in piena indipendenza, col tempo si sarebbero organizzati in una nuova forma di società adatta ai loro bisogni. Furono invece organizzati per servire alle necessità dei padroni. Gli schiavi furono dispersi in piccoli gruppi (il proprietario medio posse-

deva da due a cinque schiavi), isolati l'uno dall'altro. Il piccolo numero e le diverse origini degli schiavi di ogni piantagione resero impossibile il mantenimento della tradizione orale, e quindi di una qualsiasi identità tribale o razziale. Per di piú, ogni raggruppamento che sembrasse capace di coesione per legami familiari, di affinità o di tribú fu volutamente diviso o rigidamente controllato al fine di prevenire rivolte. Detenendo il potere assoluto, il padrone poteva vendere o comprare, imporre o vietare la coabitazione, infliggere pene corporali compresa la morte, assegnare cibo, riparo e abiti nella misura che gli garbava. Il sistema fu sancito da leggi e mantenuto con l'ausilio delle autorità politiche e religiose e delle forze armate; il colore della pelle degli schiavi e la mancanza di luoghi in cui nascondersi rendevano la fuga pressoché inconcepibile.
L'impotenza dello schiavo ebbe effetti traumatici, come è stato dimostrato da Stanley M. Elkins in un ampio studio del periodo schiavista. Il maschio non era il rispettato procacciatore di cibo, il protettore e il capo della casa. La femmina non allevava il figlio destinato a occupare il proprio posto in una società giusta, né poteva contare sulla protezione del marito o di alcun altro uomo responsabile. La ricompensa per il duro lavoro non consisteva in beni materiali o nel riconoscimento dei propri pari, ma soltanto nell'essere stimati dal padrone come esseri inferiori ma fedeli. Il padrone - l'« uomo » - essendo la persona la cui approvazione era necessaria, divenne l'oggetto principale dell'attività emotiva del negro. Lo schiavo poteva amare o odiare il padrone, o questo rapporto poteva essere ambivalente, ma era comunque il piú importante della sua vita.
In una situazione del genere la stima che lo schiavo aveva di se stesso era in rapporto diretto con la vicinanza e la rassomiglianza al padrone, non con la riuscita o il potere, personale o di gruppo, e poteva evolvere soltanto in modi che tendevano a dividere il popolo negro. Gli schiavi addetti ai lavori domestici guardavano dall'alto in basso gli schiavi braccianti; quelli di sangue misto i « negri puri »; gli schiavi di padroni ricchi e importanti quelli i cui padroni godevano di minor prestigio sociale.
C'era una netta frattura tra i fomentatori di disordini, di ribellioni e sabotaggi, e i « buoni schiavi » che all'occasione li tradivano, come tra i negri schiavi e quelli liberi. In tal modo era impossibile il formarsi di un'autocoscienza del negro in quanto tale.
Si pensa spesso che, con la fine della Guerra Civile americana, la condizione dei negri liberati divenisse analoga a quella degli immigrati che man mano sbarcavano in America. In realtà essa era assai diversa. I negri uscivano dalla schiavitú per entrare in una società che era dilaniata come non mai dall'antagonismo razziale. Da lungo tempo erano stati spogliati del loro retaggio culturale africano, né erano stati capaci di crearsi un patrimonio culturale in America; inoltre, l'esperienza degradante della schiavitú li aveva profondamente segnati. Cosa piú grave, furono loro negate le armi di cui avrebbero avuto bisogno per diventare parte integrante della vita nazionale: le possibilità di avanzamento politico e economico. Privi ormai di valore per gli ex padroni, divennero i concorrenti diretti dei *poor whites*, i bianchi poveri del Sud. Le condizioni di vita imposte dalle leggi sui negri emanate nell'immediato dopoguerra erano per molti versi altrettanto dure quanto la schiavitú. Durante i primi due anni dopo la fine della guerra molti negri subirono gravi violenze o furono uccisi da bianchi liberi da ogni freno; la denutrizione e la dispersione erano parimenti molto gravi e diffuse.
Nel 1867 le Leggi per la Ricostruzione posero il Sud sotto giurisdizione militare e concedettero il diritto di voto agli schiavi liberati degli undici stati sudisti. Nel Nord, invece, in tutti gli stati tranne nove, i negri seguitarono ad essere esclusi dal voto, o mediante specifiche discriminazioni razziali, o attraverso l'espediente di tasse proibitive. Fino alla ratifica del 15° emendamento costituzionale, avvenuta nel 1870, solo il 5 per cento dei negri residenti negli stati del Nord poté votare. Le Leggi per la Ricostruzione introdussero pure a favore dei negri una certa misura di protezione militare e legale, nonché provvedimenti per l'accesso all'istruzione e per la tutela sanitaria. La Ricostruzione, tuttavia, non fece sí che i negri diventassero proprietari di terre in misura tale da acquistare un potere di gruppo, e il perpetuarsi del sistema delle piantagioni portò di conseguenza che molti negri restarono sotto lo stretto controllo degli ex padroni ed esposti al ricatto o a rappresaglie economiche. Benché in alcuni stati superassero i bianchi per numero di voti, e addirittura controllassero l'apparato legislativo in Louisiana e nel South Carolina, i negri non diventarono mai un vero potere nell'ambito della comunità nazionale.

SENEGAL
GAMBIA
SIERRA LEONE
LIBERIA
GUINEA
COSTA D'AVORIO
GHANA
NIGERIA
GABON
CONGO
REPUBBLICA CONGOLESE
ANGOLA
12.441
3.906
3.851
18.240
10.924
11.485
473 DAL MOZAMBICO E DALL'AFRICA ORIENTALE

La differente origine dei negri tratti schiavi aiuta a capire i contrasti esistenti tra i negri americani. La cartina mostra, a titolo di esempio, i luoghi d'origine degli schiavi sbarcati nel South Carolina tra il 1733 e il 1785. Spesso, pur provenendo dalla stessa regione, gli schiavi appartenevano a diverse tribú. Inoltre, a differenza degli immigrati bianchi, non avevano una lingua comune né legami storici di costume, di tradizione che li unissero.

Lo schiavismo rese impossibile la formazione di una comunità negra organizzata e cosciente, privò i negri di qualsiasi dignità di razza e di eventuali tradizioni di gruppo, provocando contrasti e divisioni tra loro. Questa incisione dallo « Harper's Weekly » mostra un gruppo di schiavi destinati ai lavori domestici schierati ordinatamente da un mercante per una vendita all'asta a New Orleans.

Ciò dipese in gran parte dalla loro vulnerabilità economica, ma vi contribuirono notevolmente anche le divisioni che si erano consolidate durante la schiavitú. La guida dei negri fu assunta dai meticci e dagli ex schiavi domestici che, avendo servito famiglie bianche della classe media o dell'alta borghesia, avevano acquisito un certo grado di abilità e di educazione. Molti di costoro avevano conservato un legame psicologico servile nei confronti dei bianchi, nonché il bisogno psicologico di averli amici; perciò fecero ben poco per far progredire la causa del gruppo negro. Inoltre, non comprendendo le cause dell'apatia, dell'inettitudine e del comportamento asociale di una certa parte dei loro compagni di razza, essi sentivano il colore della pelle come un elemento di vergogna piuttosto che un sostegno morale, e furono generalmente pronti a subordinare le rivendicazioni negre al loro tornaconto personale, a quell'arricchimento che li avrebbe posti il piú lontano possibile, socialmente e psicologicamente, dagli altri negri. Perciò, salvo qualche lodevole e importante eccezione, spesso i *leaders* negri divennero strumenti nelle mani dei *leaders* bianchi. Nel corso della Ricostruzione ogni significativa influenza negra fu cancellata, e molto tempo prima che l'ultimo negro fosse scomparso dai parlamenti degli stati del Sud i negri come gruppo erano stati ridotti all'impotenza.
In tali circostanze, il progresso economico, sociale e culturale dei negri fu gravemente ostacolato. Le imprese di proprietà negra dipendevano in gran parte dalla miserabile comunità di colore ed erano condotte da persone scarsamente istruite, inesperte, per le quali era assai difficile procurarsi finanziamenti e che non erano in grado di competere con gli imprenditori bianchi. La maggior parte dei negri non era preparata che al lavoro agricolo o a quello domestico, e non v'era da attendersi che una struttura bianca, che si manteneva con la forza fisica e lo sfruttamento, fornisse ai negri i mezzi per educarsi. Alle « scuole negre » veniva accordato il minimo indispensabile in fatto di edifici, fondi, materiale didattico, personale insegnante, cosí che solo i negri piú dotati, e piú fortunati, poterono ricevere un'educazione paragonabile a quella messa a disposizione dei bianchi.
Come è stato scritto da John Hope Franklin nel suo libro *Reconstruction after the Civil War*, la Ricostruzione non recò alcun beneficio alla maggior parte dei negri, e durò ben poco: entro il 1870 le truppe federali abbandonarono quasi tutti gli stati del Sud. Mentre i negri erano ancora impegnati nel tentativo di affermarsi in qualche modo, le vicende politiche generali resero consigliabile cercare la collaborazione degli esponenti politici sudisti, e le truppe federali furono richiamate dagli ultimi tre stati del Sud nel 1877.
Vi fu un breve periodo di moderazione che presto cedette il passo al terrorismo su larga scala. Minacce e violenze allontanarono i negri dalle urne; entrarono in carica sceriffi, legislatori e magistrati razzisti. I parlamentari approvarono leggi segregazioniste che furono convalidate dalla magistratura e messe in atto dalle autorità di polizia, creando cosí un sistema che non aveva nulla da invidiare allo schiavismo quanto all'effetto di escludere i negri dalla vita pubblica, dagli affari, dalle organizzazioni sindacali, dal governo e dall'istruzione pubblica.
A quell'epoca, e anche piú tardi, i bianchi fecero del miglioramento del livello di istruzione e della condotta dei negri piú arretrati una condizione preliminare per la concessione della parità di diritti a tutti i negri. Che gente era, quella che formava la frazione piú miserabile della comunità negra? Ritengo si possa dimostrare che a tale frazione appartenevano quei negri che, da schiavi, avevano vissuto nello stato piú abbietto, quelli cui era stata impedita, o al piú consentita in condizioni precarie, la stessa organizzazione familiare, che erano stati oggetto di compravendita, di separazioni imposte, di soprusi di ogni genere. Alcuni di essi erano stati trattati come bestie da soma o da allevamento; molti avevano sofferto brutalità, atti di sadismo, violenze carnali. In molti casi era stato impedito loro di praticare la religione, cosí che non potessero nutrire neppure quel tanto di rispetto di sé che sarebbe derivato dal sentirsi anch'essi « figli di Dio ».
Oltre che fuggire (e lo tentarono molti di piú di quanto non si creda), questi schiavi nulla potevano fare se non adottare diversi mezzi di difesa. Reagirono in vario modo, come attestano le commoventi relazioni di prima mano raccolte da Benjamin A. Botkin. Molti lavoravano il meno che fosse loro possibile senza essere puniti, abituandosi cosí ad un ritmo di attività che non poteva certo condurli a migliori risul-

tati dopo la schiavitú. Molti sabotavano gli attrezzi del padrone, abituandosi a un atteggiamento sprezzante e vandalico verso la proprietà in generale. Alcuni si rifugiarono in un totale diniego delle reali loro condizioni, scivolando nell'apatia e creando cosí il *cliché* del negro del Sud, lento nel muoversi e lento nel pensare. Altri invece assunsero un atteggiamento di sbruffonesca superiorità, limitandosi al soddisfacimento di bisogni fondamentali, come il cibo e il sesso. Finita la schiavitú, quindi, non ne scomparve la *forma mentis*.

I membri della piú oppressa minoranza continuarono ad ignorare la vita di famiglia. Inoltre, per ragioni economiche e per la forza dell'abitudine, la famiglia rimase spesso priva di un uomo che la guidasse, o almeno di un marito e padre legittimo. Tra costoro il senso di irresponsabilità, l'abitudine alla neghittosità, il disprezzo per i valori convenzionali e l'odio verso il bianco, sfogato attraverso la violenza verso i propri simili, spesso si combinavano, concorrendo a determinare un modo di vita che provocava nei loro riguardi l'avversione e l'esclusione sia da parte dei bianchi che degli altri negri. A causa di tutto ciò, non potevano non fallire una volta a contatto con il mondo esterno.

Di conseguenza, ricadevano e si arroccavano nella loro sottocultura, che andava vieppiú rafforzandosi. I bambini nascevano e crescevano nell'ambito di questo sistema di vita. Essendo preclusa loro ogni influenza esterna, i valori, gli esempi, il senso di segregazione, tramandati in questa frazione della popolazione negra attraverso generazioni, stanno alla base di gran parte delle piaghe (figli illegittimi, criminalità e altri tipi di comportamento antisociale) che si registrano in misura abnorme tra l'attuale gruppo etnico negro negli Stati Uniti. Questo sottogruppo asociale è sempre stato una minoranza in seno alla intera comunità negra, ma a causa di esso è nato quell'erroneo concetto del negro « tipico », che molti bianchi si sono fatto, e che deforma l'immagine del « negro » perfino agli occhi di molti altri negri. Da molti anni i *leaders* negri accusano il sottogruppo piú depresso di gettar fango sull'intera comunità, mentre i membri del sottogruppo accusano i *leaders* di essersi arresi, di essersi « venduti » ai bianchi. In queste reciproche accuse vi è solo quel tanto di verità che basta a mantenerle in vita, accentuando le divisioni, perpetuando i conflitti e impedendo lo sviluppo di una coscienza di gruppo, di una fattiva collaborazione per acquisire, al gruppo stesso, influenza e potere. È tuttavia sorprendente, se si considera la dura condizione dello schiavo, il fatto che alcuni schiavi si adattarono abbastanza bene alla nuova condizione di uomini liberi. Molti si erano portati dietro dalla terra d'origine un complesso di valori e di tradizioni che comprendevano l'abitudine al lavoro pesante, nonché una grande stabilità di istituzioni come la famiglia e la tribú. L'autore ritiene, ma non è ancora stato in grado di dimostrarlo, che nel continente d'origine molti di costoro erano stati agricoltori, piuttosto che cacciatori o « raccoglitori ».

Da schiavi, molti di essi trovarono il sostegno e il conforto morale necessari per mantenersi fedeli a tali valori nella intensa e appassionata partecipazione alla vita religiosa.

Per un altro gruppo di negri, meno sensibili all'appello religioso, la scoperta di un significato della vita e la piena realizzazione di sé avvenne in una altra direzione. Nacquero i *blues*, le orchestre jazz: le capacità creative di questi negri aprirono loro le porte dell'industria dello spettacolo.

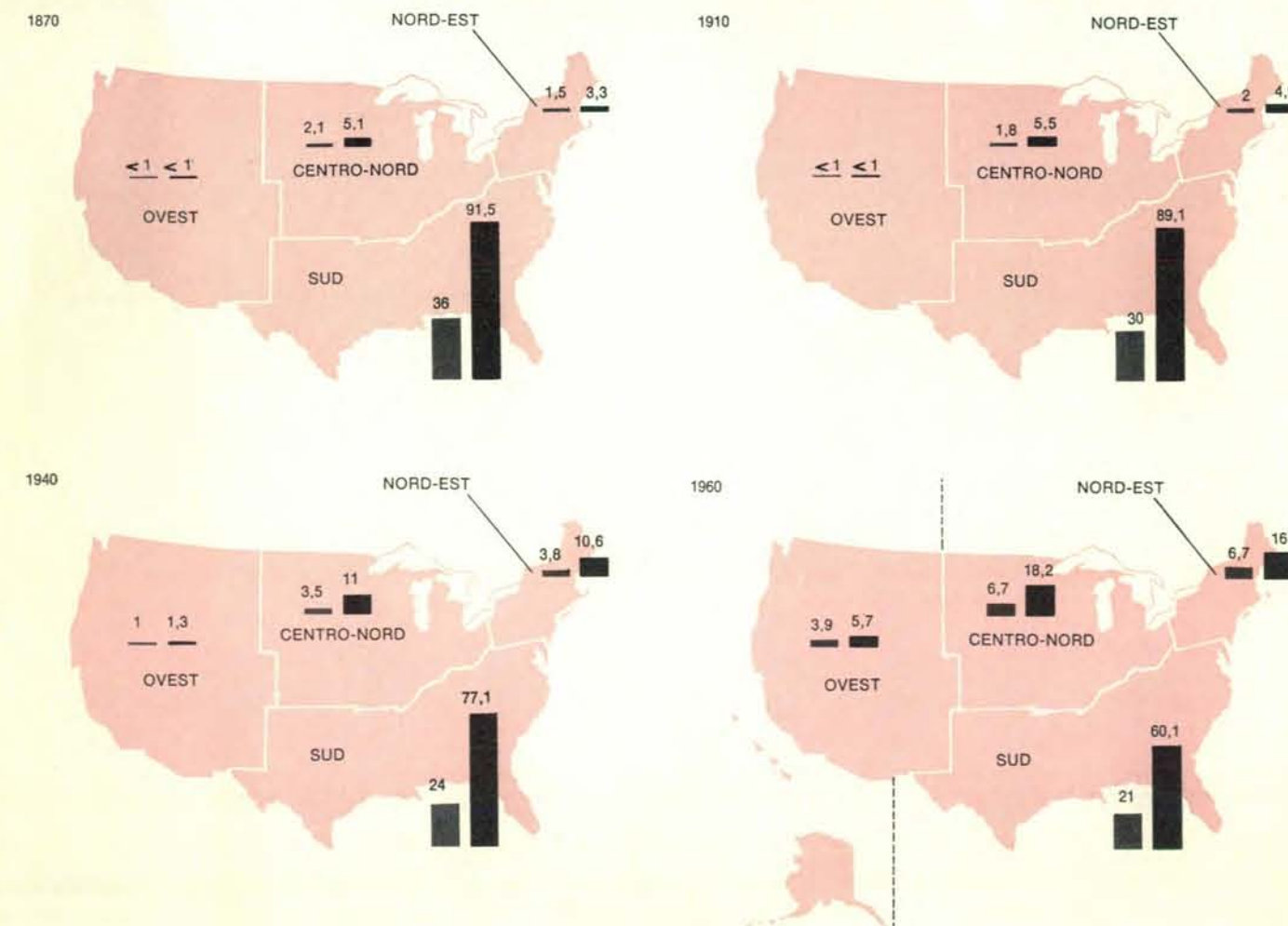
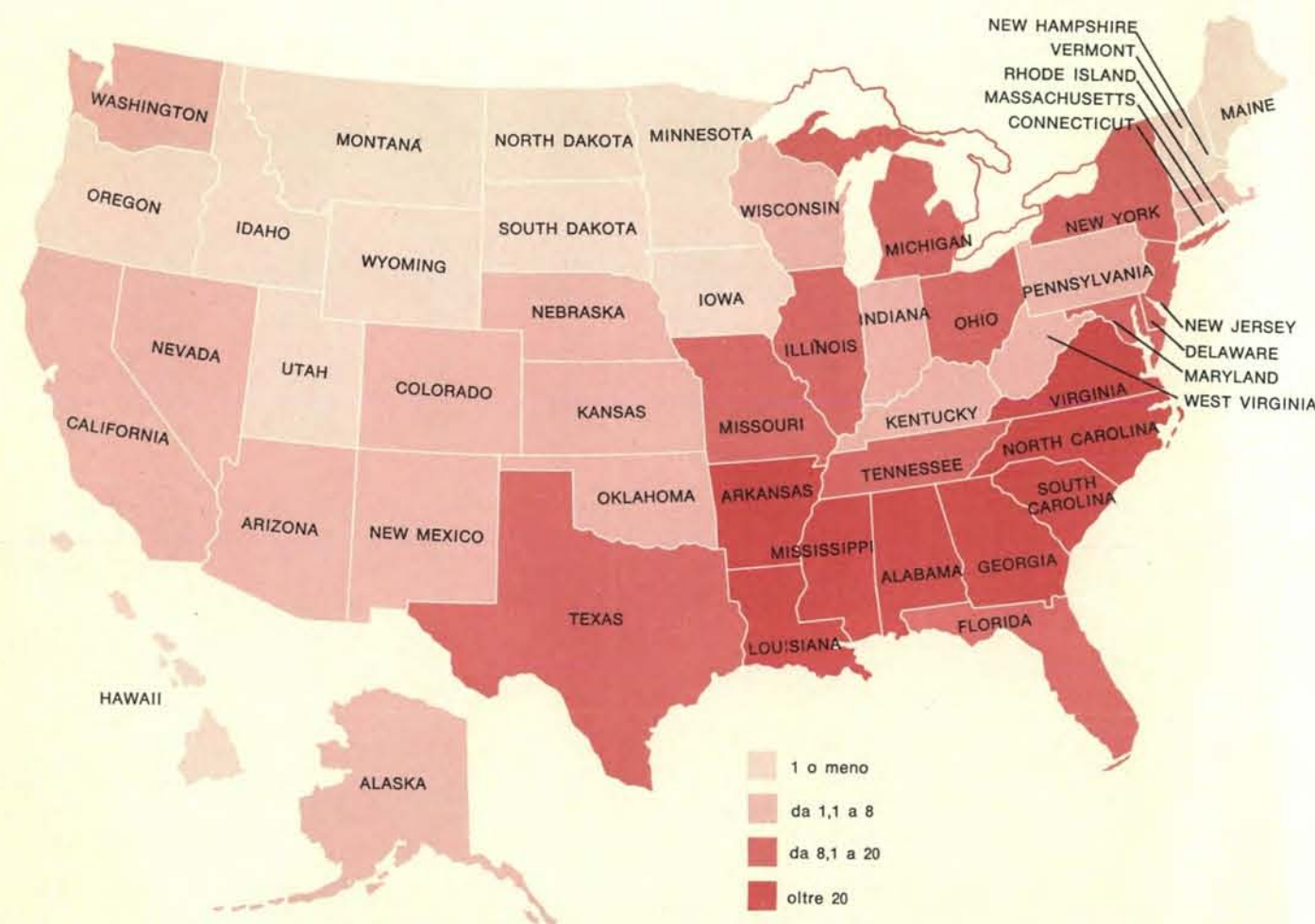
Un altro campo in cui i negri riuscirono ad affermarsi fu quello sportivo. A poco a poco, da questi tre gruppi - religioso, artistico e atletico - venne formandosi una nuova e vigorosa classe media che aveva meno bisogno dell'aiuto dei bianchi di quanto non ne avessero avuto i negri che erano riusciti a progredire socialmente nei periodi precedenti. Un grande numero di negri avrebbe dovuto accedere alla classe media per il tramite di questi gruppi relativamente stabili, ma molti non vi riuscirono sia per la mancanza di potere politico ed economico della comunità negra, sia per le barriere elevate dal pregiudizio razziale. Coloro le cui aspirazioni furono frustrate reagirono in molti casi distruttivamente entrando a far parte del sottogruppo negro piú depresso e adottandone il modo di vita: la « sottocultura del fallimento » creata dallo schiavismo acquistò nuove reclute e fu perpetuata dagli ostacoli frapposti dalla società bianca all'assimilazione o almeno all'accettazione dei negri.

Nell'ultimo decennio la « rivolta negra », concretatasi nell'intensificarsi del ricorso alla legge, in dimostrazioni pacifiche, in favorevoli decisioni della magistratura e in nuove disposizioni legislative, nonché le mutate condizioni economiche, hanno apportato rapidi e significativi benefici ai negri della classe media. Tuttavia la massa costituita dai negri a basso reddito ha fatto ben pochi progressi; molti sono stati scossi dalla campagna per i diritti civili, ma pochi ne hanno tratto vantaggio. Delle unità familiari negre, 40 su cento sono classificate come « povere » secondo gli standard adottati dalla Social Security Administration. Per le unità familiari bianche la cifra è dell'11 per cento. I negri a basso livello di reddito svolgono lavori manuali o sono disoccupati; vivono in quartieri « segregati » paragonabili ai ghetti, sono sfruttati da padroni di casa e negozianti; spesso sono le vittime dell'attività criminale e degli sfoghi di violenza attraverso i quali si manifestano le frustrazioni dei loro amici e vicini di casa.

I tumulti avvenuti in varie città nel corso degli ultimi anni sono stati infatti la reazione di una piccola parte della popolazione negra meno favorita alle umiliazioni frustranti cui è soggetta la sua vita quotidiana.

Come mai tanti negri non sono stati capaci di trarre vantaggi dalla « rivolta », mentre gli immigrati seppero sfruttare ogni possibilità per affermarsi? La ragione principale sta nel fatto che i requisiti necessari per aprirsi la strada al successo economico sono diventati piú elevati. È poi scomparsa la disponibilità delle terre « di frontiera », nel Far West, che erano virtualmente libere per il primo occupante. I lavori non qualificati o parzialmente qualificati che si aprivano agli immigrati bianchi si sono fatti piú scarsi, e molte organizzazioni sindacali, controllate da bianchi appartenenti alla classe economica medio-inferiore, non accettano l'adesione dei negri per poter riservare ai loro membri i posti disponibili. La legge non può intervenire, in questo caso, perché i negri non sono rappresentati in misura proporzionale al loro

Distribuzione per Stato degli U.S.A. della popolazione negra alla data del 1960. L'intensità della colorazione mostra la percentuale dei negri rispetto al totale della popolazione. Nel Nord, le maggiori concentrazioni di negri si trovano negli Stati con grandi città.

Distribuzione dei negri, per grandi regioni. I segmenti grigi indicano la percentuale di negri sulla popolazione totale della regione per ciascuno dei quattro censimenti indicati; i segmenti neri mostrano la percentuale del gruppo etnico negro presente nelle varie regioni.

numero negli organi amministrativi e legislativi municipali e statali, nonché al Congresso. I negri detengono ben poche posizioni chiave nella grande industria, e le piccole imprese condotte da negri sono una fonte di impiego trascurabile.

Non mancano certo, negli Stati Uniti, le possibilità di impiego, ma si tratta di impieghi per operai e tecnici altamente specializzati. Sono posti richiedenti un grado di istruzione e di addestramento che molti negri, e anche molti lavoratori bianchi, non posseggono. L'addestramento richiede tempo e una sufficiente preparazione psicologica, e deve basarsi su un'adeguata istruzione ricevuta nella scuola di grado secondario. Molti negri poveri non hanno ricevuto tale preparazione, e molti giovani non la ricevono neppure oggi. Vi sono bambini negri che riescono abbastanza bene nelle scuole elementari, ma che falliscono non appena accedono alla scuola media, sia perché l'ambiente della scuola, insegnanti e attrezzature, è scadente e poco invitante, sia perché non trovano alcun incoraggiamento allo sforzo richiesto dallo studio nelle loro famiglie e nel loro sottogruppo culturale.

Molti esperti di sociologia, tra cui Daniel P. Moynihan, credono di vedere nella struttura della famiglia negra povera la chiave per la comprensione del problema negro. A mio avviso, costoro indicano un aspetto importante del problema, ma non ne colgono l'essenza. Certamente la mancanza della stabilità familiare priva molti bambini negri di quella sicurezza psicologica e di quei modelli di comportamento che sarebbero loro necessari per progredire socialmente. Molte famiglie negre non hanno padre, e anche se fosse possibile costringere quest'ultimo a far ritorno alla sua famiglia con la forza della legge, le prospettive non migliorerebbero se il suo modo di pensare e la sua condotta non costituissero un esempio positivo per i figli. Si sa: spesso un padre maltrattato da una società ostile reagisce maltrattando i propri figli. D'altronde, anche genitori degni e amorevoli sono impotenti, se l'ambiente della sottocultura entro la quale sono costretti è tale da mettere i figli su una cattiva strada.

Il punto di intervento deve essere quindi la stessa sottocultura che grava sulla famiglia influendo in modo determinante sui suoi valori morali, sulla sua condotta e perfino sulla sua struttura.

Come è possibile spezzare questo circolo vizioso? Molti ragazzi bianchi appartenenti a famiglie immigrate, insoddisfatti del loro stato e del divario esistente tra la sottocultura d'origine e la società dominante, riescono ad evadere dal proprio gruppo e ad inserirsi profondamente in un altro, quando la forza di attrazione di questo è sufficiente. Alcuni ragazzi del sottogruppo negro piú depresso riescono anch'essi ad evadere. Spesso a ciò è necessario un polo di attrazione specifico: un determinato individuo o una determinata istituzione che stabiliscano un obiettivo o rappresentino un modello. Il guaio è che i pregiudizi razziali e l'alienazione sia dai bianchi sia dagli stessi negri della classe media, fanno sí che la cultura dominante eserciti un'attrazione assai scarsa sui ragazzi negri piú poveri. Lavorando come consulente per il Child Study Center della Yale University in scuole situate nelle zone piú depresse, ho potuto constatare che molti ragazzi negri sentono la cultura dominante, diversa da quella in cui sono nati, come qualcosa di profondamente estraneo, appartenente al mondo dei bianchi. Una volta che abbiano raggiunto l'età di dodici, quattordici anni - quella in cui si afferma un forte senso di identità razziale - molti di loro sentono la necessità di rifiutare il mondo dei bianchi, i suoi valori e le sue istituzioni, e anche di respingere i « negri bianchi », ossia quelli della classe media. Poiché questi ragazzi sono portati a esasperare il fondamento razziale dei loro problemi, è piú probabile che possano imparare ad affrontarli e a risolverli da un negro istruito e intelligente piuttosto che da un bianco, per quanto onesto e ben disposto e scevro di senso di colpa possa essere.

Malauguratamente, la comunità negra americana non è attualmente in grado di offrire ai suoi membri piú sfortunati uno standard di comportamento, un complesso di regole e di valori morali, un rifugio psicologico, come fecero per i loro appartenenti le sottoculture degli immigrati bianchi. Non esiste alcuna istituzione negra, al di là della famiglia, che sia abbastanza in armonia con la cultura americana presa nel suo complesso per imporre ai negri un comune denominatore morale e per assicurare la coesione del gruppo. La chiesa è l'istituzione che piú si avvicina all'adempimento di questa funzione, ma i negri appartengono a uno strabiliante numero di sette, spesso anch'esse frazionate e divise da aspre rivalità. Analogo grado di disunione si riscontra nelle maggiori associazioni negre di mutuo soccorso, nelle organizzazioni civiche e perfino nei gruppi che si battono per l'ottenimento dei pieni diritti civili. Vi è una ragione particolare che spiega alcuni dei violenti contrasti che travagliano le organizzazioni negre, ed è che la lotta per il potere, per una posizione di prestigio, diventa naturalmente piú intensa tra uomini in larga misura esclusi dal mondo degli affari, dalla vita politica e in vari casi anche da quella sindacale. Solo pochi negri hanno una visione abbastanza ampia della società nel suo complesso per sapere individuare le vere cause dei loro problemi; e, data la profonda divergenza dei loro interessi, difficilmente riescono a concordare una comune linea d'azione. Tutti questi fattori rendono i numerosi gruppi negri particolarmente vulnerabili alla politica, consapevole o no, del *divide et impera*.

Di fronte a tale caos, individui bianchi animati da sentimenti altruistici, nonché enti pubblici e associazioni private, si sono mossi, per cosí dire, nel vuoto, spesso senza capire che, nonostante i conflitti interni, le istituzioni negre esistenti soddisfacevano importanti bisogni psicologici ed erano in intimo contatto con la loro gente. Avvalersi di queste istituzioni per offrire nuovi servizi sociali sarebbe servito a potenziare le uniche forze capaci di aiutare e organizzare la comunità negra. Invece i nuovi enti, pubblici e privati, hanno preferito ignorare le istituzioni esistenti per fare tutto da sé. Non di rado hanno sedi ottime e assumono qualche impiegato « indigeno », ma la barriera classista e razziale è difficile da abbattere. La ragazza bianca con i capelli lunghi e i sandali alla moda che fa da assistente sociale e da agente di collocamento può essere piena di simpatia verso i negri, ma non può dire a un giovanotto negro (e neppure sa che dovrebbe dirglielo): « Per ottenere il posto dovete presentarvi meglio, dovete avere un aspetto migliore del candidato bianco ». Inoltre, un negro, povero o no, ripetutamente aiutato da bianchi influenti mentre il suo gruppo etnico non può soccorrerlo o non se ne cura, difficilmente potrà andar fiero di sé e del proprio gruppo. Gli effetti nefasti di questo concetto negativo della propria razza sono stati constatati in molti negri, e tuttavia molte iniziative attualmente in corso tendono a perpetuare questo grave problema di fondo piuttosto che ad avviarlo a soluzione.

Un'indicazione positiva è data dal fatto che molti negri elevatisi socialmente non sentono piú il bisogno di tenersi, psicologicamente e fisicamente, a distanza dalla propria gente. Anzi, molti sono ansiosi di offrire il loro aiuto. La loro fattiva presenza in seno alla comunità negra avrebbe il positivo effetto di controbilanciare la forza d'attrazione della sottocultura. D'altronde, poiché i compiti delle organizzazioni negre sono stati in gran parte assorbiti dalle organizzazioni create e dirette dai bianchi, non esiste un'istituzione che consenta a questi volonterosi di operare adeguatamente per infrangere la barriera creata da un secolo di distacco e di contrapposizione nell'ambito della comunità negra.

Di recente alcuni negri hanno avviato una serie di iniziative intese a venire incontro alle necessità non soltanto materiali, ma anche spirituali e psicologiche, della loro comunità. A Cleveland, New York, Los Angeles e vari centri minori stanno venendo alla ribalta nuovi *leaders* che si propongono di accrescere la coesione e il prestigio sociale dei negri (anche ai loro stessi occhi) mediante cooperative aventi lo scopo di risanare i tuguri, di costruire e amministrare nuovi quartieri di abitazione, di fondare imprese commerciali che forniscano beni e servizi a prezzi equi. Preferibilmente queste imprese dovrebbero tutte appartenere a negri eminenti (atleti famosi, artisti, professionisti e funzionari pubblici) o a istituzioni negre: chiese, associazioni di mutuo soccorso e organizzazioni per l'ottenimento dei pieni diritti civili e politici. Il controllo di queste imprese dovrebbe essere esercitato congiuntamente dai proprietari e dalla comunità.

Simili iniziative rappresentano molto piú che possibili investimenti di denaro da parte di negri abbienti. Opportunamente strutturate, diventerebbero istituzioni tangibili e permanenti capaci di dare compattezza al mondo negro senza bisogno che l'unità dipenda dall'ostilità dei bianchi o da condizioni di vita degradanti. Attraverso di esse, i negri che sono riusciti ad emergere potrebbero stabilire un fecondo contatto con la loro comunità.

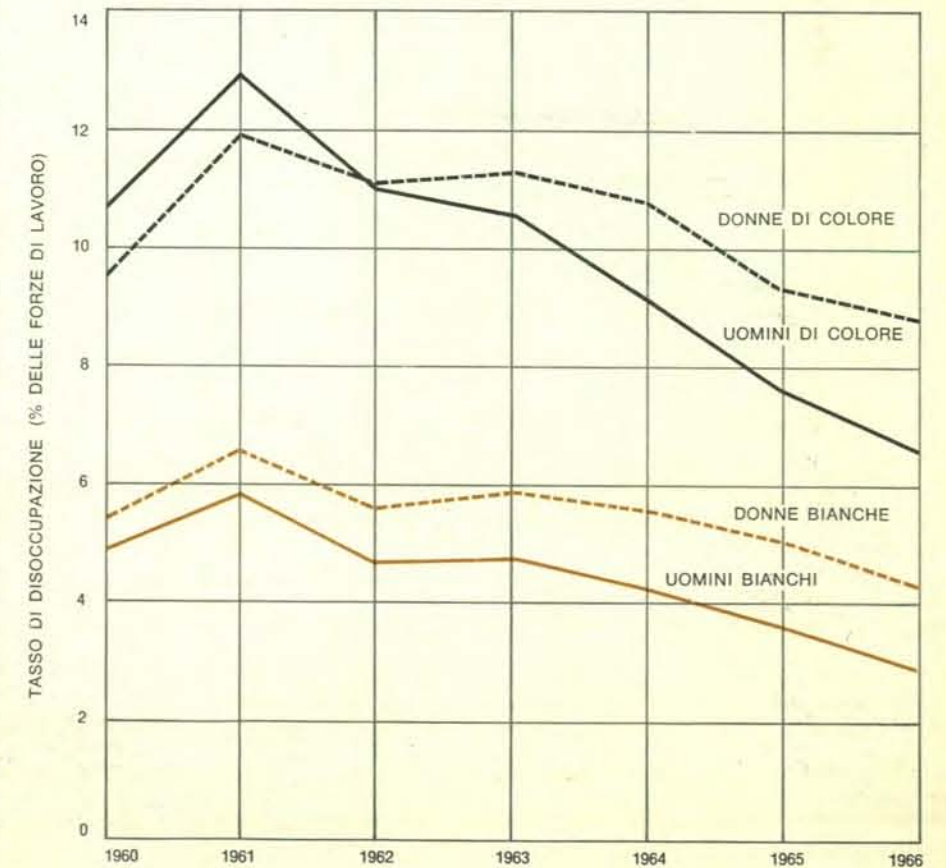
Una vasta « istituzionalizzazione » dell'esperienza negra nel suo complesso stimolerebbe l'orgoglio di razza, che è una potente forza psicologica. L'attuazione di un simile programma fornirebbe la base per un'azione politica unificata, intesa a dare alla comunità negra rappresentanti che ne favoriscano i migliori interessi. D'altronde, in modo analogo questo processo storico è avvenuto nell'America bianca: esistevano, ed esistono, una potenza irlandese, una tedesca, e cosí una italiana e polacca e ebraica, oltre a quella protestante anglosassone, ma questi gruppi, per ovvie ragioni, sono meno chiaramente identificabili dei negri. Chiese e sinagoghe, associazioni culturali e caritative, sindacati operai, unioni professionali, complesse reti di alleanze familiari e sovrafamiliari sono serviti come centri di potere per mantenere la coscienza di gruppo, assicurare posti di lavoro, creare nuove possibilità di progresso, stringendosi a formare gruppi di pressione e blocchi elettorali. La composizione per nazionalità dei due grandi partiti americani e l'assegnazione delle candidature che la rispecchiano attestano che l'appartenenza a un gruppo etnico ha tuttora nette ripercussioni politiche.

Il genere di « potere nero » qui proposto non fomenterebbe disordini, ma anzi, incanalando costruttivamente le energie liberate dal movimento per i diritti civili, dovrebbe diminuire le esplosioni di violenza dirette contro i due simboli del potere e del prepotere bianco: la polizia e i mercanti.

Proporre istituzioni negre, inoltre, non significa addurre argomenti a favore della segregazione o delle discriminazioni. Piaccia o no, è un fatto che a breve scadenza la maggioranza della popolazione di molte grandi città americane sarà formata da negri. Lo scopo è fare di queste città luoghi in cui la gente possa vivere in modo umano, realizzando al meglio le proprie possibilità, con o senza integrazione. L'obiettivo finale è una società integrata, ma tale obiettivo, in certe zone, potrà essere raggiunto in un secondo tempo.

Dove un'integrazione immediata è possibile, essa dovrebbe essere attuata subito, ma non si deve dimenticare che l'integrazione può avvenire tanto piú facilmente quanto piú elevato è il livello di educazione e di sicurezza della popolazione, sia bianca che di colore. Nel caso di integrazione immediata, una comunità negra organizzata e attiva aiuterebbe i suoi membri ad affrontare meglio una situazione in cui la ripetuta constatazione della brillante e rapida « avanzata » delle comunità immigrate bianche spesso acuisce il senso di inferiorità del negro.

Le strutture di potere della società bianca - industria, banche, stampa, governo - possono perpetuare, consapevolmente o meno, le divisioni della comunità negra e la sua impotenza. Statistiche socio-economiche e studi psicologici indicano che ciò sarebbe un errore. Per molte ragioni, il numero dei negri asociali e alienati sta aumentando. Nessuna delle iniziative in corso sembra in grado di porre rimedio ai problemi di questo sottogruppo travagliato e inquieto. Quasi tutti sono d'accordo nell'auspicare un'azione massiccia e immediata. La forma di tale azione, tuttavia, dovrebbe corrispondere al bisogno, storicamente determinato, di assicurare ai negri quel tanto di potere economico e politico che ne faciliti il progresso, dando loro un ragionevole grado di controllo sul loro destino.

Questo grafico dimostra chiaramente come il tasso di disoccupazione sia piú elevato tra i lavoratori di colore che tra quelli di pelle bianca; nell'ultimo decennio il rapporto è stato di circa 2 a 1, con una netta preponderanza, tra i negri, degli elementi piú giovani.

Metodi tradizionali e non per risolvere i problemi alimentari del mondo

Tutti i metodi convenzionali devono essere sfruttati, ma non bastano, da soli, a risolvere il problema della fame. Occorre introdurre nuovi metodi, che imporranno dei mutamenti nelle abitudini tradizionali.

di N. W. Pirie

Fin dall'inizio della storia, il mondo è sempre stato afflitto da carestie. Prima di questo nostro secolo non v'era chi non conoscesse la fame: occasionalmente o per tutta la vita. Oggi i paesi industrializzati sono riusciti, attraverso una felice combinazione di fortuna, abilità e preveggenza, a sottrarsi a questo antico destino e ad escogitare sistemi grazie ai quali la maggior parte della gente può ragionevolmente sperare di morire senza aver conosciuto la fame. Permangono tuttavia i problemi dell'ipernutrizione (sui quali esiste una vasta letteratura) e della malnutrizione, intendendo con questo termine un'alimentazione che, pur contenendo calorie sufficienti - talvolta anche eccessive - manca nondimeno di alcune delle componenti necessarie ad una dieta soddisfacente. Si può dire che la malnutrizione, che rappresenta un fenomeno permanente e di vasta portata, costituisca una « conquista della tecnica » affatto sconosciuta all'uomo primitivo, il quale non aveva l'abilità di trattare il cibo in modo tale da privarlo di molte delle sue componenti essenziali, pur lasciandolo gradevole all'aspetto e al sapore. Inoltre, prima dello sviluppo dell'agricoltura, pochi elementi contenevano quell'eccesso di carboidrati che caratterizza gran parte della dieta moderna. La giusta politica dei paesi tecnicamente progrediti non consiste, tuttavia, in un tentativo di « ritorno alla natura » con consumo di alimenti allo stato naturale: un trattamento dei prodotti può presentare, oltre che inconvenienti, anche vantaggi. Ciò che è essenziale è una diffusa conoscenza dei princípi dietetici e un certo buon senso che consenta di sfruttare con la dovuta moderazione le capacità tecniche acquisite. È utile ricordare quanto sia recente questa nuova situazione alimentare: in Inghilterra, per esempio, esisteva una certa penuria alimentare cinquant'anni or sono, una grave penuria alimentare un secolo fa. Ed ancor prima, molte colonie dovettero abbandonare, per non morire d'inedia, le zone nelle quali si erano insediate in Australia e negli Stati Uniti, zone che sono ora del tutto fertili. Si dice che fra i cercatori d'oro che invasero la California nella « corsa all'oro » del 1849 lo scorbuto abbia ucciso piú di 10.000 persone e che quella regione abbia offerto lo scenario per alcune classiche descrizioni di questa malattia. In qualsiasi nuova regione si vada, occorre imparare a viverci e a coltivarne la terra; non si può pensare che gli stessi sistemi rivelatisi efficaci in un paese, lo siano automaticamente in un altro. Di conseguenza, è probabile che nuovi sistemi verranno reperiti per rendere produttive ed autosufficienti quelle regioni del mondo che oggi sono permanentemente sottonutrite. Essenziale, tuttavia, è che la ricerca di tali sistemi venga iniziata immediatamente e sia condotta senza troppo ossequio verso i pregiudizi e i metodi tradizionali.

Il problema può essere sintetizzato cosí: che cosa si può fare perché il mondo intero raggiunga quel grado di libertà dalla fame di cui godono oggi i paesi industrializzati?

È noto che in molte parti del mondo si registra un deficit alimentare, mentre la popolazione è in rapido aumento. Alcuni motivi di questa situazione sono facilmente individuabili. Allorché le condizioni di vita mutano lentamente, si verificano, con lo stesso ritmo, fenomeni compensativi. Si ha motivo di ritenere, per esempio, che nell'Europa del Cinquecento metà dei bambini morisse prima di aver raggiunto i cinque anni, anche se non si hanno statistiche generali per quel periodo.

L'attuale livello raggiunto dalla mortalità infantile non è tuttavia strettamente collegabile al progresso della medicina. Fino all'inizio di questo secolo, piú uno stava alla larga dai medici - se non per la cura di ferite e traumi vari - tanto meglio era per lui. Ad assicurare migliori condizioni sanitarie per le nostre popolazioni è stato invece il progresso della tecnica che ha consentito di disinfettare l'acqua e di eliminare le acque luride; coloro che introdussero questi miglioramenti furono spesso persone che non avevano neppure sentito parlare dell'esistenza dei bacilli o che, come Florence Nightingale, si rifiutavano di crederci. Ma il mutamento avvenne con sufficiente lentezza perché le famiglie potessero adeguare il tasso di natalità alle nuove condizioni. Inoltre, l'incremento della popolazione poté venire assorbito dalla terra coltivabile ancora a disposizione. Quella che René Dubos chiama « la valanga demografica » ci è piombata addosso proprio perché oggi è possibile intraprendere su vasta scala e condurre a termine in minor tempo le opere destinate al miglioramento delle condizioni sanitarie della collettività.

Una volta che i princípi informatori siano stati assimilati, le condizioni igieniche di una regione possono essere migliorate da pochi individui. Non sempre, però, ciò si verifica rapidamente: ad esempio, certe comunità agricole, pur essendo aperte alle moderne tecniche produttive, non lo sono altrettanto verso i sistemi di miglioramento igienico-sanitario, in quanto questi dipendono dall'adeguamento mentale di

un'intera classe rurale, e non solo di quei pochi che sovrintendono al rifornimento idrico e all'eliminazione dei rifiuti. Infine, se il tasso di natalità è potenzialmente illimitato, la produzione di cibo non lo è.

È chiaro quindi che la valanga demografica deve essere arrestata. Ma ciò non può essere fatto - a meno non si voglia ricorrere a mezzi coercitivi - senza la collaborazione della gente; il che significa piú istruzione, migliore igiene e, di conseguenza, almeno per un certo periodo, un tasso d'incremento della popolazione ancora piú alto. Il primo risultato di una campagna per la limitazione delle nascite veramente efficace consisterà in un aumento piuttosto che in una diminuzione della popolazione. Maggiori sforzi dovrebbero essere dedicati alla propaganda per il controllo delle nascite e al perfezionamento dei sistemi anticoncezionali, in modo da giungere alla situazione ideale: quella, cioè, in cui si debba fare qualcosa per modificare la « normale » condizione di non fertilità e il concepimento sia sempre un atto consapevole. Ciò, comunque, costituirebbe soltanto un palliativo al problema piú importante, che è quello di una maggiore produzione alimentare.

È inevitabile che le risorse alimentari, oggi già ampiamente sfruttate, lo siano ancora di piú nei prossimi cinquant'anni, dopo di che il mondo intero potrebbe raggiungere quell'equilibrio demografico che ora si riscontra solo in alcuni paesi industrializzati.

La normale reazione dell'uomo alla miseria è la compassione e tale reazione è seguita talvolta dalla beneficenza. Di qui nasce il grande sforzo attualmente sostenuto per trasportare nelle zone di maggior bisogno i « surplus », cioè le eccedenze alimentari accumulate in alcune regioni del mondo. Ciò è certamente encomiabile e procura senza dubbio grandi soddisfazioni morali ai donatori, ma esistono due ragioni per le quali tale sistema influisce in modo marginale sulla vera sostanza del problema. In primo luogo, questi « surplus » non sono tali da incidere in modo sostanziale sull'attuale bisogno alimentare mondiale. In secondo luogo, la politica dei « doni » - fatta eccezione per temporanei periodi di crisi - scoraggia gravemente il beneficiario. Un secolo fa, il filantropo Edward Denison osservava: « Ogni scellino che io dono fa quattro *pence* di bene tenendo in vita il povero corpo di chi lo riceve, e otto *pence* di male contribuendo a distruggere la sua povera anima ». Quasi mille anni fa, il filosofo e giurista ebreo Maimonide, analizzando le varie forme di carità, concludeva che la forma migliore è quella di agire in modo da rendere superflua la carità stessa.

AMERICA LATINA

MEDIO ORIENTE

ESTREMO ORIENTE

AFRICA

200 180 160 140 120 100 80

1952-53 1955-56 1958-59 1961-62 1965-66

In questi diagrammi, preparati dalla Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura delle Nazioni Unite, sono messe a raffronto la popolazione e la produzione alimentare di quattro regioni in via di sviluppo. La curva colorata rappresenta la popolazione; quella nera continua la produzione alimentare; quella grigia tratteggiata la produzione alimentare pro-capite. Le cifre relative alla popolazione sono espresse in milioni; quelle relative alla produzione alimentare sono basate su di un indice uguale a 100 che rappresenta la media anteguerra. Le cifre per la produzione alimentare relative al periodo 1965-66 (dal 15 luglio al 15 luglio) risentono gli effetti di quella che per diverse parti del mondo è stata una cattiva annata. In quel periodo infatti la produzione mondiale pro-capite è diminuita del 2 per cento. I puntini alla fine della curva relativa alla produzione alimentare indicano l'incremento necessario per riportare la produzione pro-capite al livello del periodo 1964-65. Nel diagramma relativo all'Estremo Oriente non è compresa la Cina.

Il commercio è la piú ovvia alternativa alla beneficenza. Purtroppo, i paesi in via di sviluppo sono, a questo riguardo, in una posizione assai debole. Dal 1957 in poi i prezzi pagati per le materie prime da essi fornite sono diminuiti in tale misura che i paesi industrializzati hanno risparmiato 7 miliardi di dollari ed hanno accumulato un profitto supplementare di 3 miliardi di dollari dovuto all'aumento di prezzo dei manufatti. I paesi in via di sviluppo hanno quindi perduto 10 miliardi di dollari, il che equivale, grosso modo, al totale degli « aiuti » che hanno ricevuto da imprese commerciali, privati e organismi internazionali. (Le cifre sono state tratte dal *Financial Times* di Londra del 19 luglio 1965.)

Con un mercato cosí sfavorevole, non è probabile che essi siano in grado di acquistare in un prossimo futuro il loro fabbisogno alimentare come fa, ad esempio, la Gran Bretagna. Attualmente i paesi industrializzati esportano circa 30 milioni di tonnellate di cereali all'anno, in gran parte a credito. Non è verosimile che questo stato di cose possa continuare indefinitamente, e cioè che una metà del mondo continui a sfamare in permanenza l'altra metà. La convinzione che i paesi in via di sviluppo debbano essere nutriti, o mediante aiuti gratuiti o mediante accordi commerciali, nasce dal presupposto che essi siano per una qualche ragione incapaci di un'adeguata produzione alimentare. Si tratta di un'idea senza fondamento. Una volta individuati i sistemi piú opportuni, si può produrre cibo quasi ovunque vi siano sole e acqua; ai fini di una stabilità politica, il cibo deve essere prodotto dove sono le bocche da sfamare. Qualsiasi paese che sia condizionato ad altri paesi per l'approvvigionamento del proprio fabbisogno alimentare è soggetto ad essere controllato da questi stessi paesi.

Un alimento sintetico è l'Incaparina, prodotta dalla Quaker Oats Company con granturco, sorgo e semi di cotone. Questo prodotto è stato abilmente diffuso dalla Quaker Oats Company nell'America Centrale. Come afferma la scritta in spagnolo, questo pacco da 500 grammi serve « per 25 tazze o porzioni », « è molto nutriente e costa poco ».

Il problema, ridotto ai suoi termini essenziali, può cosí essere enunciato: come produrre cibo sufficiente nelle parti del mondo piú popolate?

La produzione alimentare può essere e verrà certamente accresciuta attraverso molti sistemi tradizionali. Vi sono vaste superfici incolte che possono essere messe a coltura; si possono migliorare e potenziare l'irrigazione e il drenaggio; si può accrescere in modo massiccio l'impiego di fertilizzanti e si può elevare il livello medio delle tecniche di coltivazione.

Tutti questi miglioramenti possono essere realizzati grazie ad una vigorosa azione governativa e senza che si rendano necessarie ulteriori ricerche.

Durante gli ultimi vent'anni nelle zone temperate i coltivatori hanno fortemente accresciuta la produzione cerealicola mediante la selezione di nuove varietà che potrebbero essere piú estesamente coltivate. Non si sono avuti analoghi progressi nell'agricoltura tropicale, ma non vi è ragione di credere che essi non potrebbero essere altrettanto spettacolari. Qui le ricerche non dovrebbero limitarsi ai cereali: in molte zone equatoriali umide, gli ignami (*Dioscorea* e *Colocasia*) costituiscono una delle principali fonti di nutrizione, ma le varietà usate hanno uno scarso contenuto proteico. Sembra dimostrato, tuttavia, che tale contenuto proteico differisce da varietà a varietà; ve n'è una della Nuova Guinea, chiamata Wunduggul, che contiene il 2,5% di azoto. Se questo azoto è tutto in proteine, allora il contenuto proteico del Wunduggul è del 15%, e questo fatto meriterebbe un attento studio.

Gli esperti sono pressoché concordi nel ritenere che malattie e parassiti sottraggono fino a un terzo dei raccolti.

Quando i miglioramenti accennati saranno stati realizzati, è possibile che la perdita, sia proporzionale che assoluta, diventi maggiore, poiché le colture piú ricche, che crescono in modo uniforme su vaste aree, sono particolarmente esposte agli attacchi. Il costo del trattamento può ammontare a un decimo del valore del raccolto salvato, e i metodi per praticarlo sono largamente propagandati dai produttori di antiparassitari. Non è necessario soffermarsi ora su questo aspetto del problema. Maggiore attenzione, tuttavia, dovrebbe essere dedicata alle perdite che si hanno durante la fase di immagazzinamento; in questo campo è particolarmente sentito il bisogno di tecniche soddisfacenti. Sono state scritte tante sciocchezze da coloro che credono solo negli alimenti « genuini » che la maggior parte degli scienziati è comprensibilmente infastidita di fronte alla denuncia dell'eventuale danno arrecabile ai consumatori dai residui di antiparassitari che rimangono nei raccolti immunizzati. Inoltre, la penuria di cibo può risultare per una collettività certamente assai piú dannosa dei disinfestanti applicati con cautela ed intelligenza. È certo, comunque, che degli studi per un miglioramento delle tecniche applicate in questo settore potrebbero arrecare indubitabili vantaggi. Le prospettive di accrescere la produttività mediante l'assidua applicazione di uno o piú di questi metodi sono cosí favorevoli che, a parere di molti esperti, non vi è alcuna necessità immediata di affrontare in modo piú radicale il problema della produzione alimentare mondiale. Tale è l'avviso dell'Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura delle Nazioni Unite (F.A.O.). Non si loderà mai abbastanza l'opera di questo organismo per quanto riguarda sia la raccolta e l'elaborazione di elementi statistici, sia lo sforzo costante nel richiamare l'attenzione degli ambienti responsabili sulla necessità di migliorare l'agricoltura. Tuttavia, pur riconoscendo che la F.A.O. non è una organizzazione di ricerca scientifica, non si può non deplorare la persistente tendenza di questo ente a negare fiducia ad ogni proposta innovatrice. Quest'atteggiamento può trovare una certa giustificazione nella storia. Fin dai tempi di Malthus una schiera di profeti ci ha fatto accapponar la pelle con la minaccia di un'incombente carestia mondiale. Le condizioni sono invece rimaste piú o meno immutate, o sono addirittura migliorate, e le funeste profezie si sono dimostrate fallaci dato che quattrocento anni di esplorazioni hanno scoperto nuove terre da coltivare, duecento anni di ricerca biologica hanno gettato le basi di un'agricoltura scientifica, cinquant'anni di chimica applicata hanno reso possibile la produzione di fertilizzanti mediante la fissazione dell'azoto atmosferico. Un profeta prudente dovrebbe pertanto affermare non che la fame è inevitabile, ma piuttosto che essa è probabile se la ricerca di mezzi atti a prevenirla non sarà condotta su scala adeguata. È questo il momento di cominciare, prima che il bisogno diventi piú impellente.

I prodotti agricoli ci forniscono principalmente carboidrati. Quelli che costituiscono la base dell'alimentazione del mondo - cereali, patate, ignami, manioca e cosí via - hanno un contenuto proteico che varia dall'1 al 12 per cento in peso di sostanza secca. La razione alimentare per un uomo adulto richiede un contenuto proteico del 14 per cento; quello dei bambini e delle donne in stato di gravidanza un contenuto proteico dal 16 al 20 per cento. Anche ammettendo che possa aversi un massiccio aumento della produzione e del consumo di questi alimenti, vi sarà sempre un deficit proteico. Anzi, la malnutrizione si accentuerà se il cibo verrà reso di sapore piú gradevole mediante l'aggiunta di grassi e di zuccheri, che danno energia ma non contengono proteine. Non si insisterà mai abbastanza sull'importanza vitale delle proteine; un maggior consumo di alimenti a basso contenuto proteico ingrassa l'individuo, ma lo lascia malnutrito come prima.

La consapevolezza dell'importanza delle fonti proteiche, e della loro carenza nell'alimentazione di gran parte del mondo, è stata lenta a formarsi, ma va rapidamente consolidandosi. Ancora quindici anni fa vi si prestava ben poca attenzione, anche da parte di enti e convegni internazionali quali il Congresso Internazionale sulla Nutrizione. Oggi, in tali sedi, le proteine sono diventate uno dei principali temi di discussione, con una partecipazione sorprendente perfino per i promotori. Al Congresso Internazionale sulla Scienza e la Tecnologia Alimentare, svoltosi nel 1966, per esempio, la sessione dedicata alle « nuove fonti di proteine » risultò assai piú affollata di quanto non avessero previsto gli organizzatori, con una partecipazione di gran lunga superiore a ogni altra. Di conseguenza, il resto di quest'articolo verrà esclusivamente dedicato alle sostanze proteiche. Tutte le varie componenti del regime alimentare sono necessarie, ma il fabbisogno di proteine sarà il piú difficile da soddisfare.

I prodotti animali - carne, latte, formaggi, uova, pesce - sono largamente apprezzati e usati come concentrati di proteine per migliorare dei regimi alimentari altrimenti costituiti quasi essenzialmente di carboidrati. Circa un terzo del patrimonio bovino del mondo si trova in Africa e in India, ma questo patrimonio è relativamente improduttivo ed è in parte mantenuto per ragioni di prestigio e di credenze religiose. È facile scantonare dal problema principale e sostenere che il deficit proteico di queste regioni potrebbe essere ridotto, anche se non eliminato, se le mandrie fossero selezionate e rese pienamente produttive. Gli africani e gli indiani piú progressisti se ne rendono conto e la situazione dovrà certamente mutare. Tuttavia bisogna comprendere che ogni collettività tende a convogliare una certa parte dei propri sforzi verso fini non produttivi, cosa che può sembrare assurda a un osservatore esterno. Nel Medio Evo le grandi cattedrali furono erette da gente che viveva in tuguri, ed oggi noi spendiamo piú per le ricerche spaziali che non per gli studi sull'agricoltura o la medicina. Un mutamento è inevitabile, e certe forme arcaiche legate a situazioni di prestigio o ad osservanze religiose sono destinate a cambiare; ma tale processo non sarà certo accelerato dall'ironia o dallo scherno degli stranieri.

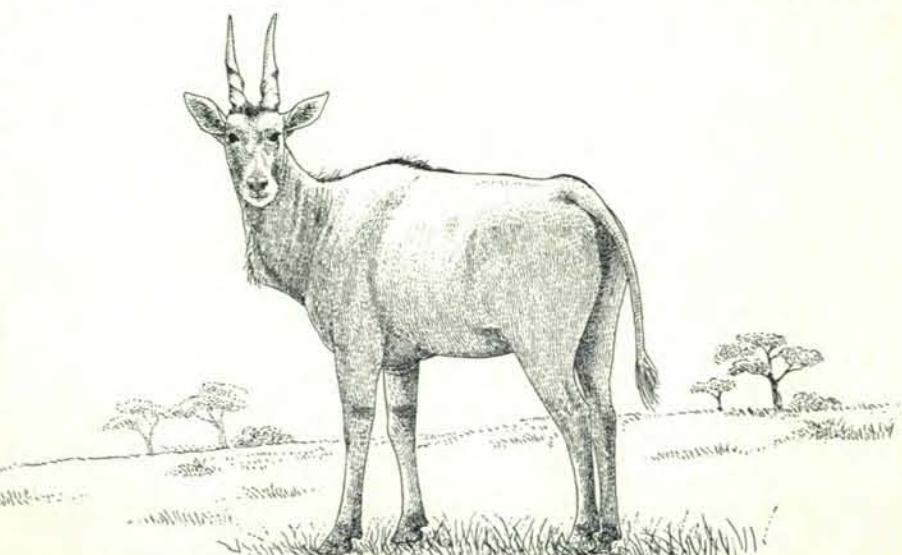
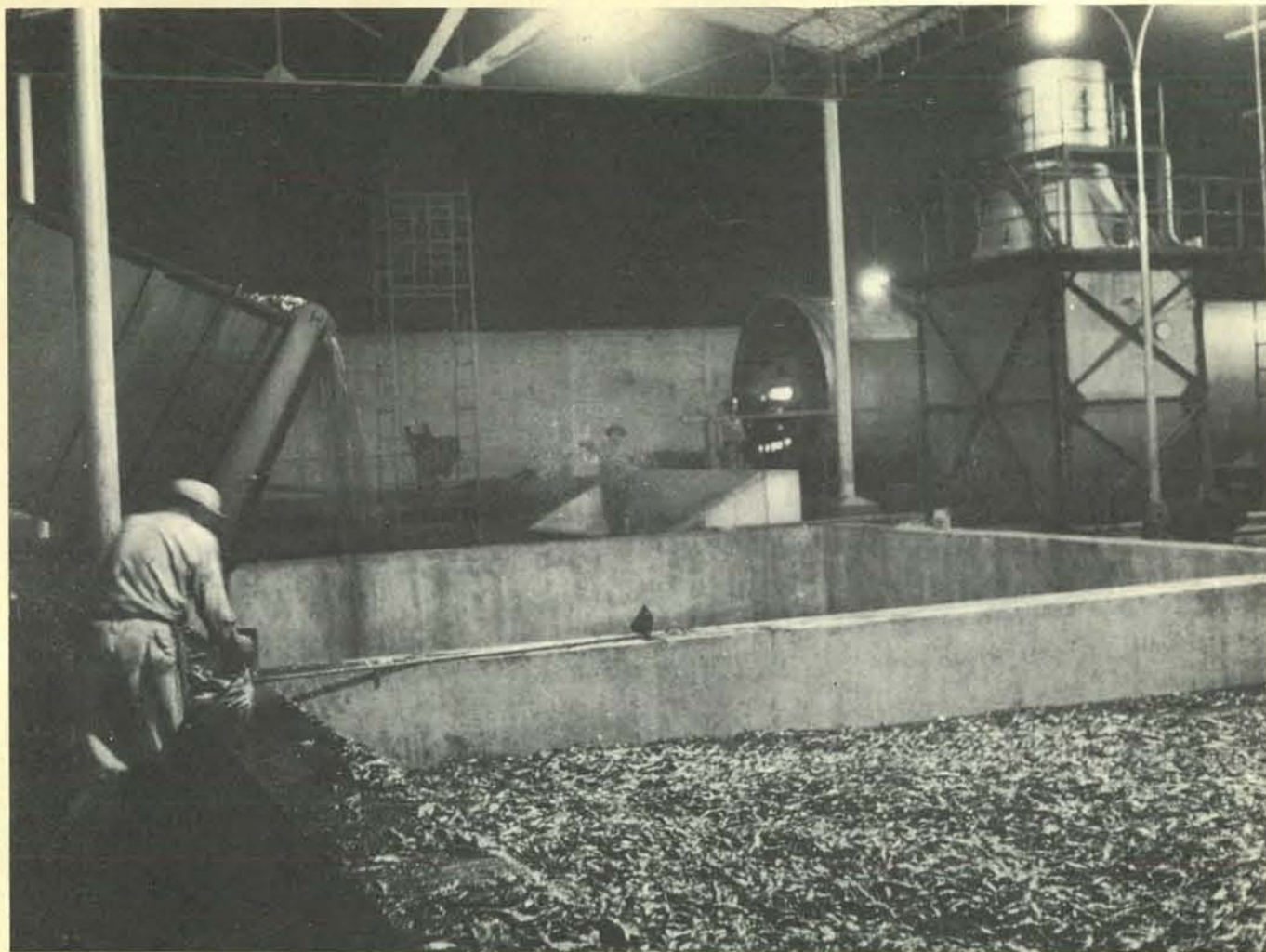
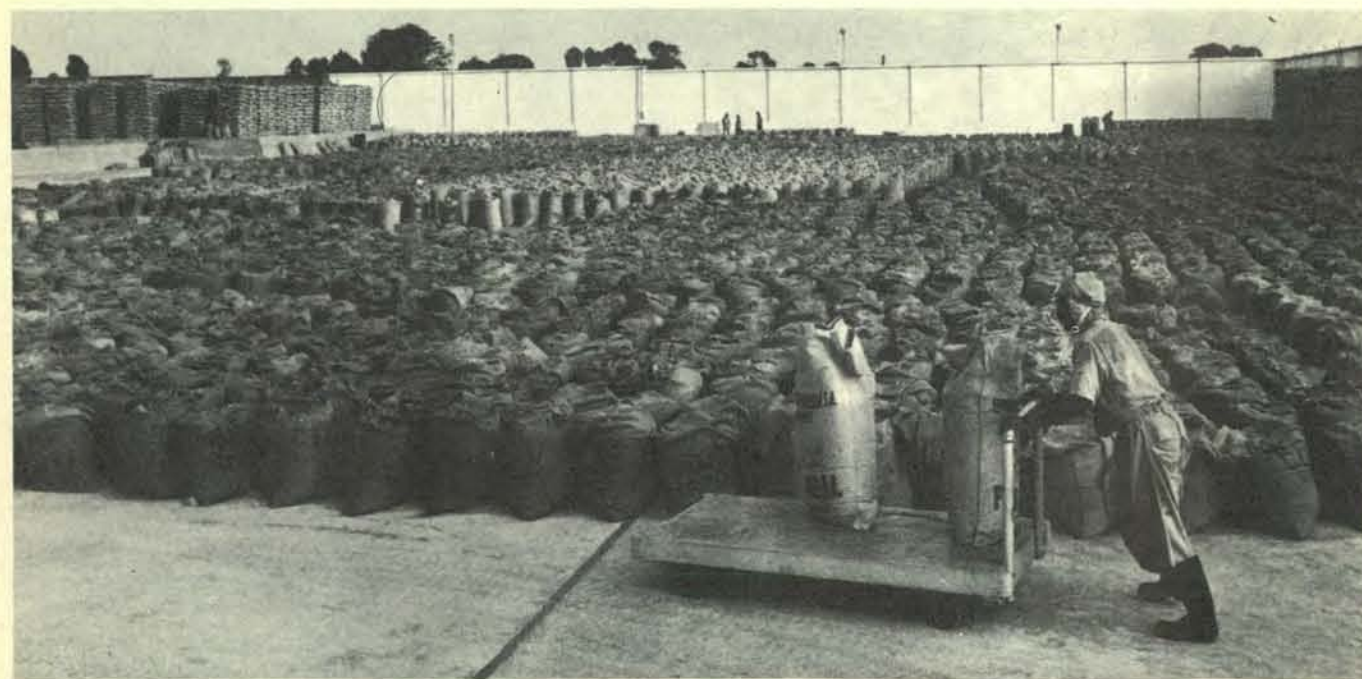
Secondo il parere di molti esperti, la necessità di mettere a coltura terre ora adibite all'allevamento condurrà nei paesi industrializzati a una diminuzione nel consumo delle carni, e alcuni prevedono addirittura che la carne sparirà dall'alimentazione. Ora, se una riduzione è probabile, è certo tuttavia che essa non verrà del tutto eliminata. Vi è molta terra adatta al pascolo, ma non all'aratro. Inoltre, vi saranno sempre grandi quantità di residui vegetali che (forse addizionati con urea) potranno essere sfruttati nel modo piú convincente come foraggio. Non è assolutamente certo, tuttavia, che dovremo sempre fondarci su erbivori domestici. Si ha motivo di ritenere che altre varie specie di erbivori, ora selvatici, possano offrire in molte zone tropicali a cespugli e a savana una risorsa alimentare superiore a quella offerta dalle specie domestiche. Inoltre, gli erbivori selvatici danno generalmente un rendimento proteico per unità di peso « vivo » superiore alle specie domestiche. Questi argomenti sono attualmente studiati nell'ambito dell'« International Biological Program ». Risultati anche maggiori possono essere raggiunti in capo a qualche anno di accurata selezione. D'altronde, ruminanti come le antilopi e il bufalo acquatico non sono le uniche specie degne d'attenzione, e la terraferma non è il solo luogo adatto al pascolo. C'è ad esempio il capibara, un grosso roditore sudamericano detto anche maiale d'acqua, la cui carne è di sapore gradevole. Le alghe, le erbe palustri e quelle che crescono in riva ai laghi, contribuiscono in misura minima all'alimentazione umana. Si potrebbe raccoglierle e utilizzarle per nutrire animali terrestri, ma forse sarebbe piú redditizio addomesticare certi mammiferi sirenidi (il manato, d'acqua dolce, e il dugongo, marino) che di esse si nutrono, allevandoli per utilizzarne la carne. Questi erbivori sono completamente acquatici e cosí, a differenza di certe specie semiacquatiche, non sono in concorrenza per il cibo con gli animali a noi piú familiari.

Foglie e noci di cocco costituiscono una fonte di proteine, una volta che siano stati eliminati sia il succo che la fibra. Il diagramma illustra le diverse fasi del processo, ed indica le possibili utilizzazioni dei sottoprodotti.

FOGLIA NOCE DI COCCO
FRESCA, UMIDA, O IN PASTA E PRESSATA

- FIBRA RESIDUA — CONTENENTE UN TERZO O MENO DI PROTEINE - UTILI COME FORAGGIO.
- SUCCO — COAGULATO E SEPARATO.
  - SUCCO — (CON L'AGGIUNTA DELL'OLIO SE È USATA LA NOCE DI COCCO). CONTIENE SALI E CARBOIDRATI SEMPLICI O DERIVATI DALL'AZOTO. UTILE COME AGENTE PER CULTURE BATTERICHE.
  - PROTEINA — (60-70 PER CENTO) CONTIENE AMIDI E GRASSI MA POCA FIBRA.

Il manato, un mammifero che vive in acqua dolce, rappresenta un tipico esempio delle nuove possibili fonti di carne commestibile. Può anche servire per controllare la crescita delle piante acquatiche di cui si ciba. Un manato adulto è lungo da 3 a 4,5 m circa.

Anche il capibara, un grosso roditore che abita presso le rive dei fiumi e dei laghi dell'America Meridionale, potrebbe fornire carne commestibile. Come il manato, il capibara si ciba di erbe acquatiche. Un esemplare adulto può essere lungo fino a 1,10 m.

La carne dell'eland, la grossa antilope africana, è già nell'uso commestibile. Essa potrebbe diventare un alimento sempre piú interessante, dato che questo animale pascola di preferenza su terreni a cespugli e a savana, che non sono utilizzabili per l'agricoltura.

Un camion, a sinistra, sta scaricando pesce minuto nelle grandi vasche di un impianto per la produzione di farina di pesce nel porto peruviano di Callao. I pesci che vengono usati in questo caso sono le « anchovetas », una varietà di acciughe. Mediante triturazione ed estrazione a mezzo di solventi essi sono trasformati in un prodotto farinoso contenente l'ottanta per cento di sostanze proteiche.

Sacchi di farina di pesce si allineano sul piazzale dello stabilimento. La farina di pesce è usata soprattutto per arricchire la dieta degli animali domestici. Nel 1965 il Perú ha pescato 7,46 milioni di tonnellate di pesce, una produzione che lo pone, in questo settore, al primo posto nel mondo. Soltanto il 63% del pescato annuo mondiale è attualmente usato per l'alimentazione umana.

È d'obbligo, in scritti come il presente, ricordare l'importanza del pesce. Concordiamo, a patto che l'insistenza non diventi ossessione. Le previsioni piú caute ci dicono, in proposito, che, per non mettere in pericolo l'esistenza stessa delle fonti ittiche, i prodotti della pesca potrebbero essere soltanto raddoppiati o al massimo triplicati. Resta poi il fatto che gran parte della popolazione umana vive lontano dai mari e dai grandi specchi d'acqua interni, senza contare che, registrando l'attività della pesca una percentuale d'incidenti doppia di quella del settore minerario, tale occupazione rischia di avere ben pochi seguaci. Nell'ultimo decennio, il peso « umido » del pescato annuo è salito da 29 a 52 milioni di tonnellate, ma la proporzione di esso utilizzata per l'alimentazione umana è scesa dall'83 al 63%. Il resto è stato infatti usato come mangime, e ciò soprattutto nei paesi ove la nutrizione non rappresenta un problema. Aumentando il pescato, la tentazione di utilizzarne una percentuale anche maggiore come mangime animale sarà sempre piú forte, dato che l'incremento sarà in gran parte dovuto a varietà di pesci al cui consumo non siamo abituati. Mediante triturazione ed estrazione a mezzo di solventi, questi pesci « nuovi » possono essere trasformati in prodotto commestibile contenente l'80% di proteine.

L'avvio di questo processo ha subíto ogni genere di disavventure, dall'uso di solventi inadatti alle esagerazioni della propaganda commerciale, dalle eccessive precauzioni igieniche agli intrighi politici. Si tratta tuttavia di un sistema valido in linea di principio e suscettibile di accrescere la quantità di proteine alimentari prodotte su scala industriale e distribuite nel mondo.

Si sente anche parlare di « coltivazione del mare », ma un'attività degna di questo nome potrebbe essere esplicata solo in spazi lagunari e non in mare aperto. Qui infatti il pesce si muove troppo liberamente e il fertilizzante immesso per favorire la crescita del « pascolo » si disperde facilmente verso fondali profondi e privi di luce. L'allevamento di molluschi e crostacei, invece, è assai piú promettente e merita maggiore attenzione da parte della scienza di quanto non ne riceva. L'alimentazione di tali invertebrati marini non sembra essere un problema, poiché molti di essi possono sfruttare la piú grande risorsa biologica esistente, e cioè i miliardi di tonnellate di materia organica in sospensione nelle acque marine. I molluschi sedentari trovano un fattore di limitazione nei predatori e nelle località d'impianto; ma i predatori possono essere tenuti sotto controllo e le possibilità d'impianto accresciute con nuovi materiali.

Non si può propriamente parlare di un « coefficiente di conversione » a proposito di animali che si nutrono di alimenti che noi non potremo usare: foraggi cresciuti su terreni troppo accidentati, paglia e altri residui, fitoplancton e altre forme di materia organica marina. Questo perché senza un animale che effettuasse la riconversione, tali alimenti sarebbero perduti per noi. Parlare di coefficiente di conversione ha senso solo ove si considerino animali che si cibano o di prodotti che potrebbero servire direttamente per l'alimentazione umana, o di prodotti cresciuti in terreni a questo scopo sottratti all'agricoltura. L'inefficienza degli animali agli effetti della conversione, espressa dal numero dei chilogrammi di alimenti che l'animale deve consumare per produrre un chilogrammo di proteine animali destinate all'alimentazione umana, è assai piú grave di quanto generalmente si pensi. Tale ignoranza deriva con ogni probabilità dalla tendenza degli allevatori a presentare i loro risultati sotto forma di rapporto tra il nutrimento « secco » consumato e il peso vivo, e quindi « umido » (e comprensivo di tutte le parti non commestibili) dell'animale prodotto. Inoltre, i dati si riferiscono in genere ad una sola fase della vita dell'animale, ignorando i periodi improduttivi. È improbabile che il coefficiente di conversione reale delle proteine vegetali in proteine animali sia piú favorevole di 1 a 7; esso anzi è generalmente piú sfavorevole. Se ne deduce che, benché i prodotti animali siano altamente apprezzati in moltissimi paesi, la loro produzione è uno spreco ogni volta che richiede l'uso di terre o di prodotti vegetali utilizzabili direttamente per l'alimentazione umana.

Questo spreco può essere anche tollerato nei paesi ricchi, ma non in quelli che lamentano un deficit alimentare.

Come ho già sottolineato, i principali prodotti vegetali usati per l'alimentazione sono poveri di proteine. I piselli e i fagioli, il cui contenuto proteico varia dal 25 al 40 per cento, sono largamente impiegati. Ora si comincia a far ricorso anche alle verdure e ai fiori immaturi. Questi possono rendere fino a 400 chilogrammi di proteine commestibili per ettaro, con un periodo di coltura che va da tre a quattro mesi, ma, poiché contengono fibre e altre sostanze non digeribili, un individuo non può ricavarne piú di due o tre grammi di sostanze proteiche al giorno. Questa quantità è comunque assai superiore a quella consumata in media, per cui i vegetali accennati rappresentano un promettente campo di ricerca. Le varietà coltivate nei paesi industrializzati sono spesso inadatte ad altre condizioni climatiche; l'opera di selezione e di miglioramento effettuata in Europa nei due secoli scorsi dovrebbe quindi essere ripetuta nella zona tropicale ed equatoriale. Saranno tuttavia necessari accurati controlli biochimici per accertare che quanto verrà prodotto non soltanto non sia tossico, ma possegga un adeguato valore nutritivo. Sarebbe questo un progetto da suggerirsi all'« International Biological Program »; la materia prima esiste in tutto il mondo e le necessità sono parimenti sentite in tutto il mondo.

Il residuo dell'olio estratto annualmente dalla soia, dalle arachidi, dai semi di cotone e di girasole è attualmente usato per la maggior parte come foraggio o come fertilizzante, o è semplicemente buttato via. Ebbene, esso contiene circa 20 milioni di tonnellate di proteine, ossia il doppio di quanto sia stato stimato l'attuale deficit mondiale. Poiché non ci si rende ancora perfettamente conto del suo valore potenziale, tale prodotto viene talmente contaminato, o danneggiato per surriscaldamento durante la spremitura dell'olio, da essere inutilizzabile per l'alimentazione umana. Si stanno però studiando metodi, soprattutto nello stato indiano del Mysore e in Guatemala, per lavorare i semi oleosi in modo da poter ricavare dai residui un alimento commestibile contenente dal 40 al 50 per cento di sostanze proteiche. L'evitare danneggiamenti nel corso della lavorazione non è il solo problema che sorga a proposito dei semi oleosi; ogni specie infatti contiene, o può contenere sostanze tossiche o comunque dannose: ad esempio, il composto fenolico detto « gossypol » nei semi di cotone, inibitori enzimatici nella soia e l'aflatossina nelle arachidi. Il « gossypol » può essere estratto, o si possono diffondere varietà di cotone che contengano un basso tenore dello stesso (pare, tuttavia, che tali varietà siano particolarmente esposte all'aggressione di insetti dannosi); gli inibitori enzimatici possono essere distrutti, e l'infestazione provocata dalla presenza di aflatossina nelle arachidi può essere prevenuta mediante opportuni sistemi di raccolta e di immagazzinamento. C'è chi sostiene che si dovrebbe estrarre, dai residui summenzionati, un concentrato raffinato e purificato di proteine, ma ciò mi sembra un errore, perché aumenta di cinque volte il costo delle proteine. Inoltre, il procedimento consiste soprattutto nella eliminazione di amidi e di altri carboidrati digeribili, che devono essere nuovamente aggiunti al concen-

trato proteico in fase di cottura. Il residuo della spremitura di un seme oleoso può essere utilizzato in quanto esso contiene una modesta quantità di fibra. Anche le noci di cocco e le foglie di molte specie di piante sono potenziali fonti di proteine, ma contengono tanta fibra che è necessario separare la proteina se il fabbisogno giornaliero richiesto supera i due o tre grammi. Questo processo di separazione, benché semplice, è ancora ai primi passi ed ha bisogno di molti perfezionamenti. Impianti di questo tipo funzionano già nel Mysore, alla Stazione sperimentale di Rothamsted in Inghilterra, e altrove. Nelle regioni umide subequatoriali molte piante comuni che si riproducono per seme non riescono a sopravvivere e non giungono a maturazione, ma il cocco prospera e le foglie crescono con esuberanza; è in queste regioni che la produzione di proteine mediante il processo di separazione offre le maggiori possibilità.

Le fonti vegetali di proteine avrebbero maggiori possibilità se si trattassero prodotti vegetali tradizionali con sistemi non tradizionali. Ma si stanno studiando anche forme di produzione completamente nuove, basate sulla fotosintesi a opera di alghe unicellulari e di altri microrganismi. Il lavoro svolto in passato a questo riguardo è stato alquanto approssimativo, e se si considera l'esiguità dell'aumento del tasso di fissazione dell'anidride carbonica ottenuto con questi metodi rispetto all'agricoltura convenzionale, si comprende subito che il costo dell'attrezzatura era del tutto sproporzionato ai vantaggi ottenuti. È illusorio pensare che le alghe posseggano speciali capacità di fotosintesi. Il vantaggio che esse offrono è la maggiore facilità di spandere uniformemente su una superficie illuminata dal sole, in modo da poter sfruttare interamente la luce, una sospensione di alghe piuttosto che una moltitudine di pianticelle. Recentemente metodi più realistici, basati sull'uso di serbatoi scoperti e dei tetti delle serre, entro le quali si possono coltivare altre piante durante l'inverno, sono stati sperimentati in Giappone e in Cecoslovacchia. Il prodotto rassomiglia sotto molti aspetti alla sostanza proteica estratta dalle foglie, ma contiene una maggiore quantità di materia non digeribile, perché non viene eliminata la parete cellulare delle alghe; può darsi che sia possibile, tuttavia, separare le proteine dalla parete cellulare, o digerire quest'ultima mediante enzimi.

Tutti i metodi fin qui esaminati si basano su quella che può essere chiamata la fotosintesi « normale ». Ma microrganismi incapaci di fotosintesi possono contribuire alla produzione di alimenti partendo dal prodotto di fotosintesi precedenti, sia recenti (paglia, segatura o il liquame che nasce come sottoprodotto della separazione di proteine dalle foglie) che remote (petrolio, carbone, metano). I substrati derivanti da fotosintesi recenti dovrebbero essere però raccolti su vaste aree, mentre gli altri si trovano già concentrati in pochi luoghi e quindi si prestano a processi su scala industriale. A prima vista ciò appare vantaggioso, e in realtà lo sarebbe se la nostra unica preoccupazione fosse l'aumento delle disponibilità alimentari del mondo. Il problema potrà presentarsi, un giorno; per ora, come ho detto, la cosa più importante è produrre il cibo dove sono le bocche, e tecniche difficili e complesse non sono le più atte allo scopo. L'aspetto più positivo delle ricerche attualmente in corso in molti paesi circa la crescita microbica su substrati fossili, come il petrolio, è dato dal fatto che ci familiarizziamo con l'idea di impiegare microrganismi per produrre cibo, e ciò renderà prontamente accetto il cibo « microbico » quando sarà prodotto con le risorse locali.

Infine, vi è la produzione di sostanze alimentari per sintesi. Le piante producono grassi e carboidrati così a buon mercato che difficilmente si potrà escogitare un processo sintetico più economico. Molte delle abbondanti proteine vegetali non presentano tuttavia una composizione amminoacidica perfettamente adatta alle necessità alimentari umane. Queste proteine sono talvolta complementari, così che le loro deficienze ai fini alimentari possono essere compensate mescolandole opportunamente. Quando ciò non sia possibile, gli amminoacidi deficienti possono essere prodotti per sintesi o per fermentazione ed aggiunti al cibo. La produzione di amminoacidi a questo scopo sarà possibile, probabilmente, solo nei paesi industrializzati, e ciò sembra essere in contraddizione con il principio più volte affermato che il cibo deve essere prodotto dove sono le bocche. Si consideri tuttavia che le quantità necessarie saranno esigue. È certo più conveniente migliorare una proteina abbondante in una determinata regione con l'aggiunta di un 5 per cento di metionina piuttosto che importare l'intero quantitativo necessario di un'altra proteina più adatta all'alimentazione.

Allevamento di mitili, nella baia di Vigo sulla costa Nord-Occidentale della Spagna. A ciascuna di queste strutture ancorate, simili a zattere, sono sospese delle corde sulle quali sono seminate ed allevate le larve delle cozze.

Il deficit alimentare, attuale o futuro, di alcune regioni meno favorite del nostro pianeta potrà essere risolto o attraverso la beneficenza, o mediante un potenziamento dei sistemi agricoli esistenti o grazie a metodi completamente nuovi. Più sopra abbiamo affermato che la politica degli aiuti non può rappresentare una soddisfacente risoluzione del problema e che sarebbe pericoloso presumere che un potenziamento dell'agricoltura tradizionale possa essere sufficiente. Senza voler minimizzare in alcun modo quanto si sta facendo in queste due direzioni, è tuttavia necessario considerare i nuovi sistemi con le massima serietà. Per definizione, una novità costituisce qualcosa di nuovo, ossia può avere un aspetto, una consistenza e un sapore del tutto insoliti. Nel commentare ciascuna proposta qui avanzata - l'impiego di strani animali, di residui della spremitura dei semi oleosi, di foglie o di proteine microbiche - è superfluo dire che si tratta di cose non familiari all'uomo medio. Ma se il mondo deve essere adeguatamente nutrito è probabile che tali sistemi dovranno essere adottati: il problema è di renderli accettabili.

Socrate, udendo uno dei suoi amici affermare che poco aveva imparato viaggiando in terre straniere, osservò: « Non mi sorprende. Eri accompagnato solo da te stesso ». Analogamente i tecnici dell'alimentazione, condizionati dai pregiudizi dietetici europei e nordamericani, sono portati a proiettare tali pregiudizi su altre comunità. Essi sono guidati da due ossessioni opposte: conferire una consistenza « masticabile » al prodotto e produrre una polverina dal sapore leggero e stabile, capace di conservarsi indefinitamente negli armadi. Né l'una né l'altra caratteristica è riscontrabile nella normale alimentazione della maggior parte dei popoli. Una determinata consistenza può avere, senza dubbio, i suoi meriti, ma essi non sono sufficienti a compensare le ulteriori difficoltà necessarie ad ottenerla. È strano d'altra parte che, proprio in un momento in cui la gente dei paesi industrializzati incomincia a ribellarsi ai cibi pre-preparati ed ai prodotti in scatola, ci si sforzi di introdurli presso gli altri popoli del mondo. Al contrario, in ogni regione si dovrebbero introdurre quelle novità che meglio rispondono agli usi alimentari locali. Nuovi alimenti tratti da pesci e molluschi sarebbero probabilmente accettati con facilità nell'Asia sud-orientale, dove il pesce fermentato fa già parte della cucina locale. Le proteine tratte dalle foglie, da semi oleosi e da microrganismi potrebbero essere adatte all'uso di popoli abituati a semolini, porridge e curry. È importante ricordare l'irrazionale diversità dei nostri gusti. Perfino in Europa e in America, un sapore e un aspetto inaccettabile in un uovo lo sono in un formaggio, un odore disgustoso in un pollo è giudicato delizioso se promana da un fagiano o da una pernice, un aroma che ci farebbe rifiutare un vino è invece gradito in un succo di pompelmo. È questione di abitudine, e le abitudini possono essere cambiate anche se non in un giorno e neppure in un mese, per mezzo di un esempio efficace e della persuasione. Ma vediamo anzitutto che cosa si deve intendere con la parola « efficace ».

L'esperienza di tanti anni ci permette di definire i parametri del successo. I quattro più importanti sono:

Primo: le ricerche su una « novità » alimentare devono essere condotte privatamente ed esaurientemente, di modo che, quando si giunga alla diffusione del prodotto, non possano sorgere ragionevoli dubbi sulle sue qualità.

Secondo: il nuovo alimento dovrebbe essere pubblicamente consumato dagli stessi innovatori. È assurdo chiedere alla gente di mettere in pratica ciò che ci limitiamo a predicare.

Terzo: l'esempio è il fattore più importante nel determinare mutamenti di abitudini; è quindi essenziale ottenere l'appoggio di personaggi locali influenti, dalle stelle del cinema agli esponenti politici. Occorre fare attenzione che i primi consumatori del nuovo prodotto non facciano parte di gruppi socialmente non privilegiati (carcerati, profughi ecc.), perché ciò darebbe al prodotto una stigmate di inferiorità difficilmente cancellabile.

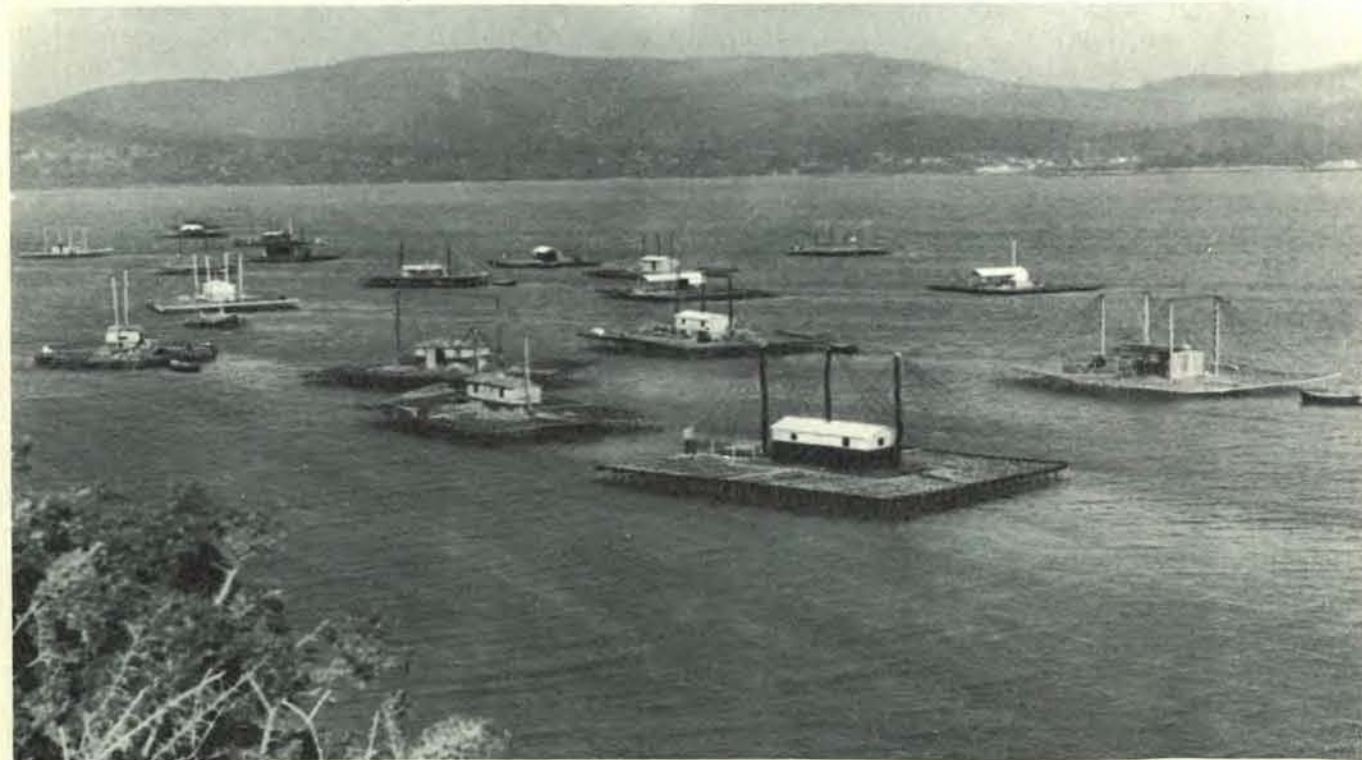
Infine, prima di qualsiasi pubblicità, bisogna assicurarsi che ci siano scorte sufficienti del prodotto pubblicizzato.

È infatti assai difficile risvegliare una seconda volta l'interesse ad un prodotto quando tale interesse sia scomparso a causa della sua irreperibilità. Tutte le proposte fin qui avanzate, ad eccezione di quella - la più semplice - riguardante un potenziamento dell'agricoltura convenzionale, comportano un impegno di ricerca. Vale la pena di considerare chi dovrebbe assumersi l'onere di tale ricerca e quale opposizione essa potrebbe incontrare. L'ostilità verso le innovazioni è un aspetto interessante e poco studiato dalla psicopatologia. Essa assume tre forme principali: totale, quasi-logica, e istantanea.

Il misoneismo totale è quello che nega l'esistenza del problema. Ancor oggi vi è chi, nel condannare qualche proposta specifica, nega addirittura l'esistenza di un deficit proteico o l'incombente minaccia di esso. È questo un punto che va immediatamente chiarito. « Esiste o no il problema? » Fortunatamente per gli studiosi, e per l'umanità, gli enti internazionali sono concordi nel riconoscerne l'esistenza.

L'opposizione quasi-logica proviene dagli economisti. Essi ammettono il problema, ma obiettano che alcune delle soluzioni proposte sono troppo costose. A questo atteggiamento si può ribattere con due domande pertinenti: « Costose in rapporto a che cosa? », e « Come fate a saperlo se non si è ancora provato? » Quando vi siano parecchi sistemi ugualmente attuabili per colmare il deficit alimentare di una regione, una stima comparata dei differenti costi è naturalmente importante. Ma quando tutti i costi sono, per varie ragioni, ignoti, questa stima comparata diventa uno sterile esercizio contabile perché necessariamente le ipotesi vi hanno una parte maggiore di un serio calcolo economico e, inoltre, a fare ipotesi sono più qualificati gli scienziati che non gli economisti, in quanto conoscono meglio i fatti, sono più consapevoli delle varie possibilità e meno soggetti a romantiche illusioni.

L'opposizione istantanea nasce perché è facile che gli innovatori irritino le persone « benpensanti », e perché l'entusiasmo suscita come reazione lo scetticismo. L'innovatore deve quindi essere preparato a cacciarsi nei guai. Lo scrittore Samuel Butler, udendo definire il genio quale infinita capacità di sopportare le avversità, obiettò: « Non è vero. Il genio è infinita capacità di cacciarsi nei guai e di restarci fintantoché il genio dura ». Con le dovute limitazioni, la massima conserva il suo valore anche quando il genio non è in causa. Vi sono comunque molti modi di mettersi nei guai, ed è altrettanto ingenuo e illogico supporre che un'idea sia giusta solo perché incontra opposizione, quanto prendere troppo sul serio l'opposizione stessa.

I governi dei paesi afflitti da un'insufficiente produzione alimentare sanno che, almeno per lo spazio di un decennio, la gente verrà meglio nutrita spendendo denaro per importare cibo piuttosto che investendolo in programmi di ricerche volti ad un migliore sfruttamento delle risorse locali. Gli

uomini di stato piú lungimiranti si rendono conto che, prima o poi, la ricerca si dovrà fare, ma è difficile resistere alle pressioni politiche, favorite e giustificate dagli elevati costi dell'agricoltura primitiva. In un mercato della Nuova Guinea le patate dolci di produzione locale costano il triplo, per caloria, del grano importato, e il pesce fresco costa, per grammo di proteine, il doppio di quello in scatola. Paesi cosí poveri difficilmente potranno finanziare programmi di ricerca.
All'altro estremo stanno i giganti dell'industria privata. Essi fanno già ottimi affari vendendo bibite analcoliche e prodotti alimentari brevettati nei paesi in via di sviluppo, e la loro abilità nel crearsi un mercato, indipendentemente dalle qualità del prodotto, è impareggiabile. Cosí gli alimenti per l'infanzia, che ben pochi esperti reputano superiori al latte materno, nel 1959 erano usati in Uganda dal 42 per cento delle famiglie, mentre nel 1950 tale percentuale era solo del 14. Vi sono senza dubbio anche ditte estremamente produttive che operano con la massima onestà ed alcune di esse si sono avventurate nella produzione di alimenti a basso costo e ad alto contenuto proteico. Dopo aver svolto il lavoro di ricerca e la necessaria campagna pubblicitaria, grazie a mezzi forniti da enti internazionali, la « Quaker Oats Company » ha dato prova di indiscutibile capacità nel produrre, distribuire e divulgare l'« Incaparina » (fatta con granturco, sorgo e semi di cotone) nell'America centrale. Un'accorta pubblicità ha decuplicato nel giro di due anni le vendite del « Pronutro », un alimento tratto dalla soia, dalle arachidi e dai pesci. Altri tentativi sono falliti perché il profitto ricavabile vendendo prodotti a povera gente senza ingannarla con la pubblicità menzognera è troppo esiguo per coprire i costi della necessaria campagna educativa preliminare, che può essere attuata solo con la collaborazione dei governi e dei responsabili dell'opinione pubblica.
Le grandi imprese private probabilmente non possono giudicare economicamente vantaggiose attività del genere e, sotto certi punti di vista, i sistemi di produzione usati potrebbero non essere auspicabili. Già oltre un terzo della popolazione urbana del mondo (che è il 12 per cento della popolazione totale) vive in miserabili agglomerati ai margini delle grandi città, e lo spopolamento delle campagne si va accentuando ovunque. Questo fatto, unito alle difficoltà di trasporto, rende quanto mai sostenibile la tesi che la ricerca dovrebbe concentrarsi su tecniche semplici, atte ad essere impiegate al livello del grosso villaggio o della piccola città, piuttosto che su tecniche complesse e altamente industrializzate. Anche queste, ben inteso, sono necessarie, ma non devono costituire la nostra unica preoccupazione.

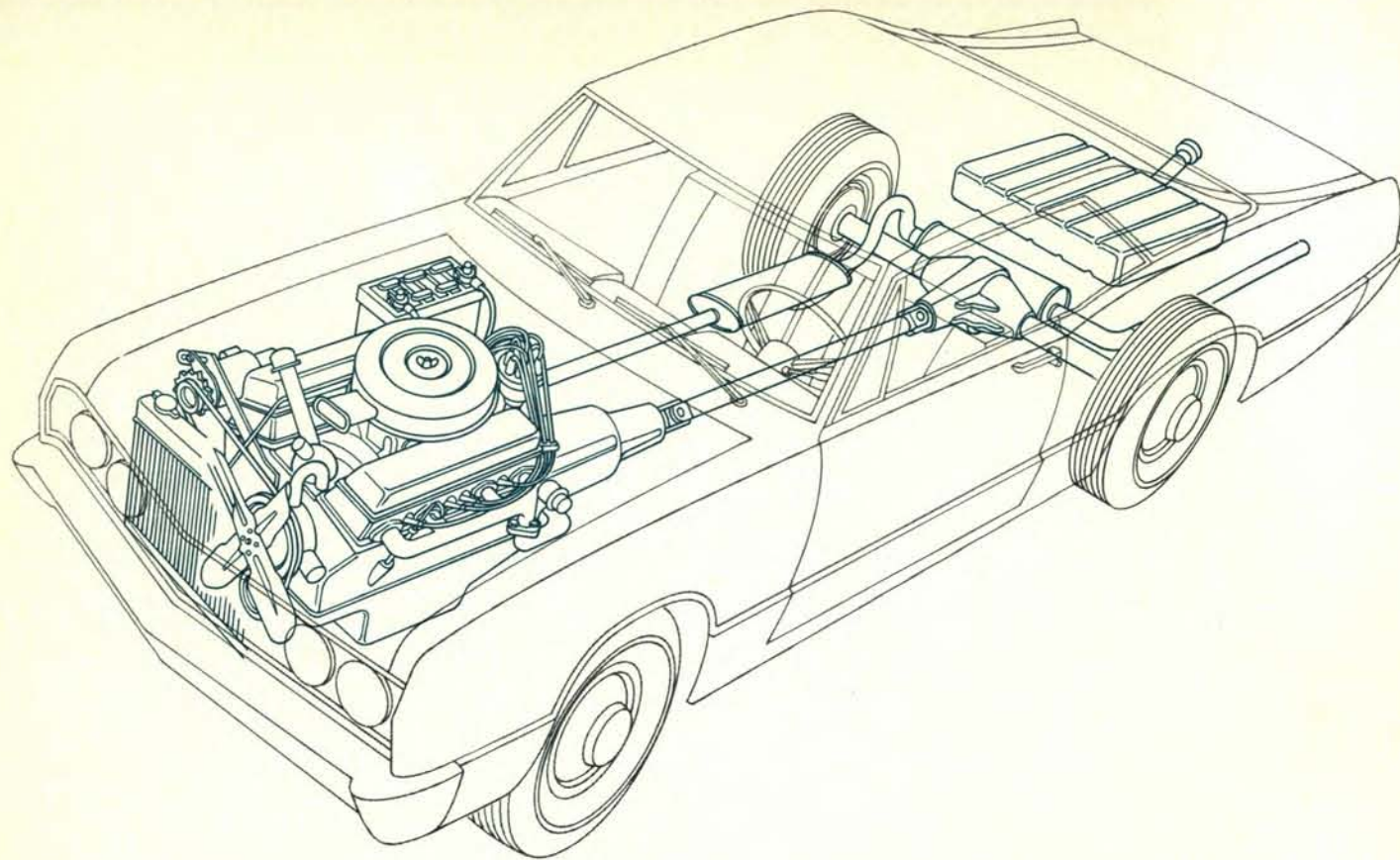
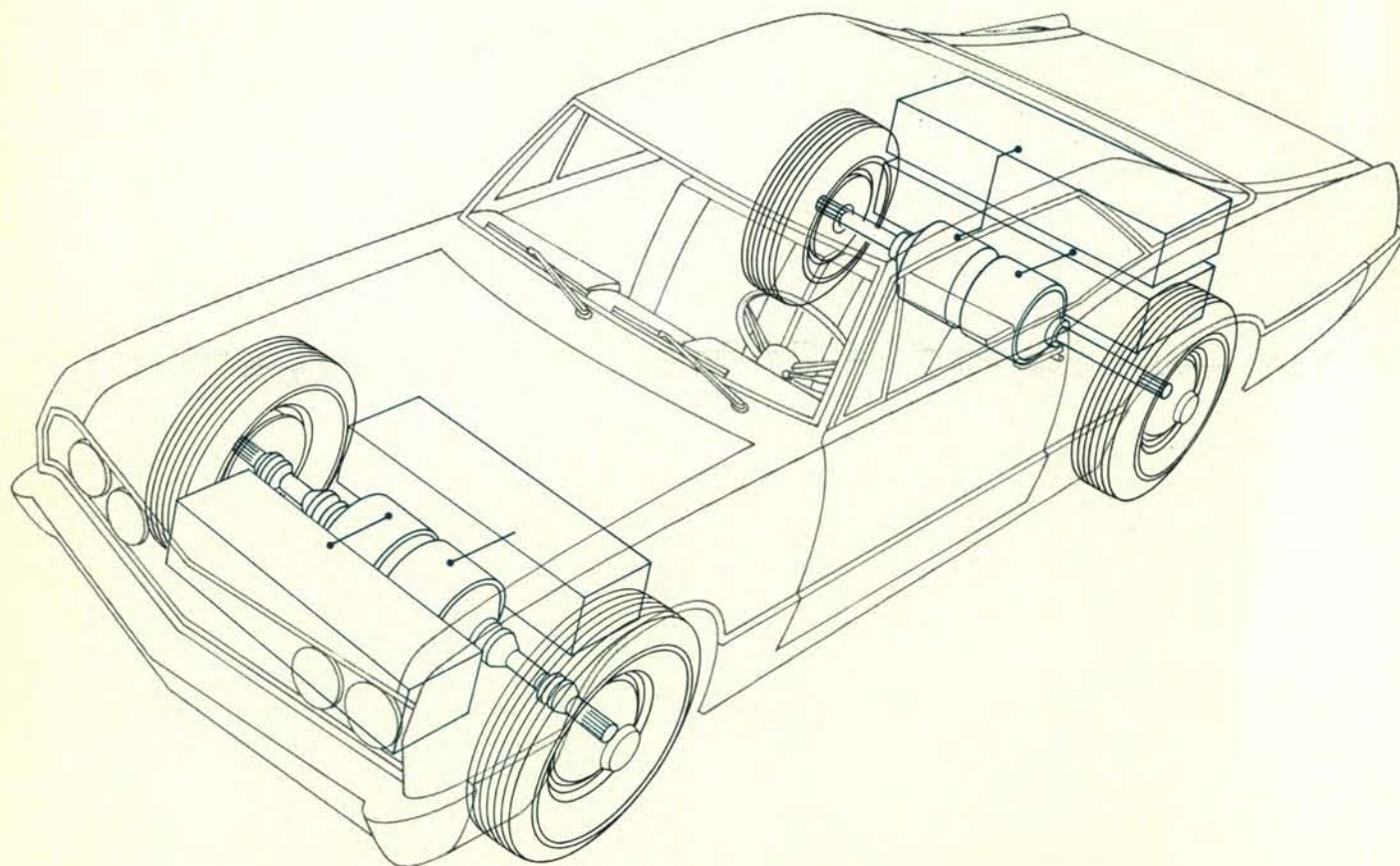
Le grosse corde, ricoperte di cozze, vengono estratte dall'acqua dopo che i molluschi hanno raggiunto il dovuto grado di sviluppo.

Dato quasi per scontato che né i governi dei paesi poveri, né le imprese private vorranno assumersi l'onere della ricerca e dello sviluppo, restano da considerare i governi dei paesi ricchi, gli enti internazionali e le « fondazioni » private. Fino ad oggi queste istituzioni si sono mostrate restie ad ammettere che radicali mutamenti nella politica delle ricerche in questo settore possano rendersi necessarie; ma i tempi stanno cambiando. Sistemi e prodotti nuovi vengono oggi, nelle relazioni della F.A.O., almeno menzionati, anche se solo per essere garbatamente condannati con qualche asserzione impropria. Comunque, ricordando il principio di Barnum, « Non importa quello che la gente dice di me purché parli di me », è già un passo avanti. I governi dei paesi ricchi contribuiscono in larga misura al mantenimento dei vari enti internazionali, ed appoggiano altre forme di aiuto. Inoltre, molte delle tecniche diffuse nei paesi piú poveri rappresentano un sottoprodotto di ricerche da essi promosse per loro fini particolari. Probabilmente, quindi, essi ritengono di fare già la propria parte. Le nostre speranze si volgono, di conseguenza, soprattutto verso le fondazioni. Occorrono numerosi istituti di tecnologia dell'alimentazione che si occupino della ricerca - sia fondamentale che applicata - sulla produzione di nuovi alimenti derivati da prodotti locali e destinati al consumo locale. Almeno uno di questi istituti dovrebbe essere aperto nella zona umida equatoriale e subequatoriale, e tutti dovrebbero dedicare particolare attenzione alle fonti di proteine. Utilizzando il materiale disponibile localmente, ogni istituto dovrebbe studiare tutte le risorse di base qui elencate e discusse. In tal modo potrebbe aversi la garanzia che vengano seguiti criteri uniformi e che la valutazione dei rispettivi risultati non sia falsata da rivalità di alcun genere. A questi stessi istituti dovrebbe essere affidata la responsabilità della presentazione e della divulgazione dei prodotti da essi creati. È possibile che un potenziamento dell'agricoltura tradizionale possa sopperire al fabbisogno alimentare del mondo ancora per qualche anno, ma, alla fine, programmi di ricerca radicali si renderanno certamente indispensabili. È meglio e piú prudente avviare tali programmi fin da ora, prima che i bisogni divengano ancora piú impellenti di quanto già non siano.

L'automobile elettrica

L'inquinamento dell'aria e altri inconvenienti dei motori a combustione interna determinano un grande interesse per la trazione elettrica, il cui successo dipende dai progressi delle batterie di alimentazione.

di George A. Hoffman

All'inizio di questo secolo sulle strade degli U.S.A. circolavano più auto elettriche che non con motore a scoppio, ma poco prima del 1930 le prime erano quasi scomparse. Il massiccio veicolo, silenzioso non poteva competere con il suo fragoroso e fumigante rivale in fatto di potenza, velocità, autonomia e convenienza, e si ritirò dignitosamente nei musei o presso gli amatori di automobili d'epoca. Oggi, però, sembra che prima della fine del secolo l'auto elettrica possa addirittura sostituire quella a benzina. Alcuni tecnici non hanno mai perduto la fede nell'automobile elettrica, e i loro argomenti vanno diventando di anno in anno più validi.
Argomento principale è il crescente inquinamento dell'aria causato dagli scarichi dei milioni di autoveicoli a benzina o a nafta che invadono le nostre città e le nostre campagne. Vi è poi il fatto, inevitabile, che, dato l'attuale consumo di carburanti d'origine fossile, la loro disponibilità a buon mercato non si protrarrà per molti decenni ancora: mentre il costo degli idrocarburi può solo aumentare, quello della corrente elettrica può diminuire. La produzione di un'auto elettrica in grado di sostituire quella con motore a combustione interna è stata finora ostacolata da problemi tecnici, ma oggi già si intravede la soluzione di questi problemi; la realizzazione in campo sperimentale di motori perfezionati e di batterie più leggere ha reso l'auto elettrica una possibilità pratica.
La progettazione di una tale vettura deve partire dal presupposto che il pubblico è restio ad accettare cambiamenti radicali in questo settore; quindi essa dovrà, almeno agli inizi, essere ben poco differente dalle attuali vetture a benzina per quanto riguarda linea, dimensioni, prestazioni, maneggevolezza, comfort, varietà di modelli, eccetera.
Cominciamo ora con l'analizzare il problema del peso, dato che esso influisce sulle dimensioni, sulle caratteristiche di marcia, sulla potenza richiesta alla vettura e anche sulla comodità dei passeggeri.
Nelle odierne autovetture, il cui peso varia dai 700 kg circa delle piccole vetture europee agli oltre 2000 kg delle grosse vetture americane, ogni costituente importante rappresenta una notevole frazione del peso totale. Il peso del motore e della trasmissione rappresenta circa un quinto del totale, mentre il peso della carrozzeria (completa di finiture) ne costituisce circa la metà; il resto è dato da sospensioni, ruote, pneumatici, sterzo, batteria, eccetera. Questa incidenza sul peso totale dei principali componenti è il risultato di quasi un secolo di perfezionamenti determinati dai gusti degli automobilisti, e poiché tali gusti riflettono il consenso dei consumatori per ciò che riguarda l'abitabilità e la facilità di guida, occorre mantenere queste proporzioni anche nella progettazione di un'automobile elettrica. Batterie e motori in un'auto elettrica vengono a pesare molto più del complesso motore-trasmissione di un'auto a benzina, ma è possibile compensare questo aumento di peso grazie all'eliminazione di alcuni elementi che non sono più necessari con la trazione elettrica (*v. tabella a pag. 37*). L'automobile elettrica infatti non ha bisogno del tunnel che serve a contenere l'albero di trasmissione; non richiede tutto il materiale isolante ora necessario contro il rumore, il calore e i gas del motore; non richiede il radiatore; non richiede serbatoio, pompa del carburante e tubature relative e neppure tubo di scappamento e silenziatore. Il cruscotto potrà contenere meno strumenti ed essere quindi più semplice, mentre il più basso centro di gravità e l'uniforme distribuzione dei pesi sulle ruote anteriori e posteriori consentirà di alleggerire le sospensioni e il meccanismo di sterzo. Tutti questi risparmi in peso consentiranno a motore e batterie di raggiungere metà del peso totale senza per questo aumentare l'attuale peso complessivo delle automobili.
Dobbiamo ora considerare la potenza richiesta al motore. La principale caratteristica che ci interessa è la ripresa a velocità moderate (fino a 50 km/h) dato che la maggior parte del traffico automobilistico si svolge ed è destinato a svolgersi nelle zone urbane. A queste velocità nessun motore esistente è in grado di sviluppare più di una piccola frazione della sua potenza nominale; ad esempio, accelerando quando si marcia a 25 km/h, si ottiene alle ruote una potenza che varia da un terzo a metà della potenza totale disponibile. Secondo alcuni calcoli, con gli attuali motori, un'automobile elettrica avente la stessa potenza di un'automobile con motore a scoppio fornirebbe prestazioni superiori alla media fino a 25 km/h, avrebbe la stessa accelerazione media da zero a 50 km/h, mentre sarebbe solo leggermente inferiore alla media nell'accelerazione in tutto l'intervallo di velocità compreso tra zero e 100 km/h.
A velocità di crociera basse o moderate, le prestazioni dei motori elettrici (a potenza costante), per quanto riguarda l'applicazione della coppia motrice all'assale e alle ruote, si possono paragonare a quelle dei motori a combustione interna (*v. figura alla pagina trentotto*). Quindi nel traffico cittadino una automobile elettrica risponderebbe al-

Confronto tra il sistema di propulsione di un'auto con motore a combustione interna (sopra) **e di un'auto elettrica** (sotto). **Il radiatore, il motore e gli organi di trasmissione dell'auto a benzina sono sostituiti nell'auto elettrica da batterie e motori elettrici** (anteriori e posteriori). **L'auto elettrica potrebbe avere 4 ruote motrici anziché 2 come è nella maggioranza delle vetture attuali.**

le pressioni sull'acceleratore con la stessa vivacità delle attuali automobili. Il controllo automatico di potenza dei motori elettrici consentirebbe anche una migliore dispersione del calore prodotto dal motore.

Quale può essere la velocità massima di un'auto elettrica? Per rispondere a questa domanda occorre fare un po' di calcoli sulle forze che devono essere superate: la resistenza aerodinamica (che aumenta col quadrato della velocità), l'attrito volvente dei pneumatici e le varie forze interne di attrito; la somma di tutte queste resistenze, moltiplicata per la velocità, dà la potenza necessaria. Paragonando la potenza richiesta a quella fornita dagli attuali motori elettrici di peso « accettabile », è possibile prevedere che un'automobile elettrica di tipo medio possa raggiungere in pianura una velocità massima di 140 km/h e che un'auto più grande possa raggiungere i 160 km/h. Questi calcoli sono confermati da un esperimento (di cui non fu data notizia) eseguito due anni fa da una fabbrica di automobili: a una vettura di tipo medio venne sostituito il motore a scoppio con un motore elettrico di analoga potenza alimentato con le batterie piú leggere allora disponibili sul mercato; l'ibrido veicolo cosí ottenuto fu inviato sulla pista di collaudo e i cronometri segnalarono una velocità massima in rettilineo superiore ai 125 km/h. Velocità di 160, 140 o anche di 125 km/h come quelle ottenute in un esperimento cosí limitato, sono evidentemente piú che adeguate al traffico e alle autostrade attuali, nonché alle condizioni facilmente prevedibili in un prossimo futuro.

I motori elettrici offrono parecchi vantaggi rispetto a quelli a combustione interna; in particolare, con gli attuali motori elettrici senza spazzole si hanno meno parti soggette all'usura e le operazioni di manutenzione sono praticamente eliminate. I motori elettrici, inoltre, possono essere usati in varie disposizioni: un unico motore di dimensioni opportune (posto anteriormente per i veicoli a trazione anteriore), due motori agenti rispettivamente sulle ruote anteriori e posteriori, quattro motori piú piccoli agenti ciascuno su una ruota. In quest'ultimo caso, ciascun motore può essere montato sul telaio e collegato alla ruota con un asse e due giunti universali, oppure può essere montato addirittura all'interno del cerchione e collegato ad esso mediante ingranaggi planetari. La prima soluzione sembra preferibile dato che la seconda provocherebbe complicazioni a causa dell'aumento di peso delle ruote ed esporrebbe i pneumatici al calore prodotto dal motore.

Con i motori collegati direttamente alle ruote si può realizzare la frenatura elettrodinamica ed eliminare gli attuali sistemi meccanici funzionanti per attrito; sarebbe cosí sufficiente una minima pressione sul pedale del freno e l'azione frenante risulterebbe uniforme su tutte e quattro le ruote. Inoltre, parte dell'energia generata dalla decelerazione potrebbe essere utilizzata per ricaricare le batterie.

Il peso totale dei motori elettrici risulterebbe minore del peso di un motore a scoppio e dei relativi organi di trasmissione. I motori a combustione in-

PARTE COMPONENTE	PERCENTUALE IN PESO ATTUALE	VARIAZIONE NEL PESO	RIDUZIONE DEL PESO	PERCENTUALE IN PESO FINALE
CARROZZERIA	25	RIDUZIONE SPESSORI DEL TELAIO PER EFFETTO DELLA RIDISTRIBUZIONE DEI PESI. ELIMINAZIONE DELL'ALBERO DI TRASMISSIONE E DEL CORRISPONDENTE TUNNEL.	1/6	21
RIFINITURE ARREDAMENTO	13	SEMPLIFICAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO E TERMICO. CRUSCOTTO PIU SEMPLICE. ELIMINAZIONE RADIATORE.	1/8	11,5
VETRI	3,5	NESSUNA VARIAZIONE.	0	3,5
SOSPENSIONE ANTERIORE	3	EGUALE DISTRIBUZIONE DEI PESI ANTERIORMENTE E POSTERIORMENTE. BASSO CENTRO DI GRAVITA. BATTERIE SISTEMATE VICINO AGLI ORGANI DI MOLLEGGIO.	1/6	2,5
SOSPENSIONE POSTERIORE	2,5	EGUALE DISTRIBUZIONE DEI PESI ANTERIORMENTE E POSTERIORMENTE. BASSO CENTRO DI GRAVITA. BATTERIE SISTEMATE VICINO AGLI ORGANI DI MOLLEGGIO.	0	2,5
RUOTE	2,3	NESSUNA VARIAZIONE.	0	2,3
PNEUMATICI	2,5	NESSUNA VARIAZIONE.	0	2,5
STERZO	1,3	ALLEGGERIMENTO MECCANISMO STERZO GRAZIE A BASSO CENTRO DI GRAVITA, DISTRIBUZIONE UNIFORME DEI PESI, QUATTRO RUOTE MOTRICI.	1/10	1,2
MOTORI ELETTRICI	—		—	X
MAGAZZINO ENERGIA	—			Y

In questa tabella sono messe a confronto le composizioni in peso dell'auto elettrica e dell'auto a benzina. La percentuale totale in peso degli organi costituenti la carrozzeria e la parte meccanica di un'auto elettrica è pari al 47 per cento del peso totale. Poiché l'incidenza dei motori (X) può essere ritenuta del 4 per cento, rimane a disposizione delle batterie (Y) il 49 per cento del peso.

Le caratteristiche di marcia di un'auto attuale (curve tratteggiate) **e di un'auto elettrica** (curva continua) **sono rappresentate dalla coppia motrice che costituisce una misura dell'energia applicata alle ruote motrici. Queste curve dimostrano che fino alle velocità medie l'automobile elettrica risponderebbe al guidatore come un'auto a benzina.**

Il costo iniziale di un'auto elettrica risulterebbe un po' superiore a quello di un'auto a benzina. Come si nota dagli schemi, la differenza dipende principalmente dal costo delle batterie. L'auto elettrica avrebbe però un minor costo d'esercizio rispetto alla macchina a benzina perché la sorgente di energia è molto più economica e i motori non richiedono che una minima manutenzione.

terna forniscono (a basse velocità) circa 1/25 di cavallo-vapore per ogni chilogrammo di peso totale del veicolo, mentre i motori elettrici attualmente allo studio peseranno meno di un chilogrammo per ogni cavallo-vapore fornito; da queste cifre è possibile dedurre che, per raggiungere le stesse prestazioni di un motore a benzina, i motori elettrici per automobili dovranno raggiungere un peso pari al quattro per cento circa (1/25) del peso totale del veicolo: questo risparmio in peso nel sistema di propulsione della vettura (circa il 50 per cento del peso del veicolo) può essere utilizzato a favore delle batterie.

Il problema delle batterie è l'ostacolo principale che ha finora scoraggiato la costruzione di auto elettriche; le batterie determinano infatti l'autonomia del veicolo (cioè la distanza percorribile tra due successive ricariche), perciò tutto dipende dalla possibilità di aumentare la loro densità di energia. I normali accumulatori al piombo utilizzati per alimentare l'impianto elettrico delle attuali automobili (e in rari casi anche per la trazione di piccoli veicoli) non possono costituire sorgente di energia per trazione a causa della loro bassa capacità, o « densità di energia ». Essi immagazzinano circa 20 wattora per chilogrammo, e quindi una batteria di questo tipo, avente peso corrispondente alle disponibilità previste più sopra, consentirebbe un'autonomia inferiore ai 60 km nelle condizioni di guida più favorevoli, e inferiore ai 30 km nel traffico cittadino. Una maggiore autonomia si ottiene con le batterie al nichel-cadmio (usate negli elettrodomestici portatili) che sono più costose e che tuttavia non permettono un'autonomia superiore ai 110 km nel traffico urbano. Anche le costosissime batterie in argento-zinco, che sono impiegate nei sistemi elettrici dei veicoli spaziali e che forniscono 60 wattora per chilogrammo, garantirebbero solo un'autonomia da 80 a 160 km.

L'innovazione che può fare dell'automobile elettrica una realtà è la « batteria ad aria », ancora agli inizi della fase sperimentale. Essa è basata su un nuovo principio: il combustibile è un metallo, e finora il metallo più adatto sembra essere lo zinco; l'aria viene pompata agli elettrodi e ha funzione di agente ossidante (*v. fig. alla pagina seguente, in basso*). La corrente in una batteria metallo-aria è prodotta dall'effetto elettrochimico dell'ossigeno dell'aria compressa sul metallo; questo processo di ossidazione libera elettroni all'anodo e produce corrente elettrica. Il prodotto della reazione precipita nell'elettrolita a fluido sotto forma di piccole particelle di ossido del metallo. Le bollicine d'aria in eccesso, ormai private della maggior parte dell'ossigeno, sono espulse dalla batteria, mentre le particelle di ossido sono trasportate, filtrate e immagazzinate in un apposito serbatoio destinato al combustibile esaurito.

Durante la ricarica della batteria, il flusso dell'elettrolita e degli elettroni liberi viene rovesciato mediante l'applicazione di una tensione elettrica ai terminali. L'ossido metallico viene portato, dall'elettrolita fluido, dal serbatoio alla batteria ove viene scomposto in metallo e in ossigeno puro: l'ossigeno è emesso all'esterno, mentre il metallo viene depositato sull'anodo fino al raggiungimento dello spessore desiderato. A questo punto la batteria è di nuovo completamente carica e pronta a un nuovo ciclo di produzione di energia.

Gli esperimenti hanno già dimostrato che, adottando come combustibile lo zinco, questa batteria - potenzialmente economica - può immagazzinare circa 100 wattora per chilogrammo; si potrebbe quindi arrivare a un'autonomia variabile tra 125 e 250 km, secondo le condizioni di guida (*v. fig. a pag. 40 in alto*). Il consumo di energia dipende essenzialmente da due fattori: frequenza ed entità delle accelerazioni, velocità di marcia. Marciando a velocità moderata costante, il consumo di energia è relativamente basso; durante la guida in città, la marcia dell'automobile viene accelerata o decelerata per la maggior parte del tempo: da un terzo a due quinti del tempo è accelerata, per poco

La batteria a metallo-aria genera energia mediante ossidazione di un metallo esposto all'aria compressa. Qui è rappresentato il flusso durante il ciclo di scarica, con le particelle di ossido indicate dai puntini. Per la ricarica, una tensione opportuna è applicata ai terminali della batteria; il flusso delle particelle risulta invertito cosicché esse sono portate dall'elettrolita nell'elemento e scomposte in metallo e ossigeno. Il metallo viene ridepositato sull'anodo, le bollicine d'ossigeno vanno al catodo ed escono dalla batteria.

meno di un terzo è decelerata, mentre per solo un terzo del tempo si svolge a velocità costante, oppure l'auto è ferma ai semafori o negli ingorghi col motore in folle. Queste cifre spiegano il consumo relativamente alto delle automobili convenzionali nel traffico urbano e la scarsa autonomia delle automobili elettriche in queste condizioni di guida. Marciando a velocità costante su strada aperta, un'automobile elettrica dotata di batteria zinco-aria avrebbe un'autonomia di circa 500 km alla velocità di 90 km/h e di circa 250 km alla velocità di 140 km/h (*v. figura in basso*).
I valori che ho riportato indicano ciò che già è possibile coi le batterie a zinco-aria attualmente in fase sperimentale; è però facilmente prevedibile che durante la fase sperimentale verranno prodotte batterie a metallo-aria con densità di energia pari a 120 - o piú - wattora per chilogrammo. Con queste capacità un'automobile elettrica potrà avere un'autonomia da 290 a 340 km in condizioni di traffico normali, autonomia paragonabile all'attuale autonomia delle automobili convenzionali.
Guardando al futuro, è lecito pensare che la batteria a rigenerazione (che produce ad esempio elettricità mediante la reazione dell'idrogeno con l'ossigeno dell'aria) divenga un giorno utilizzabile come batteria per automobili; tale batteria potrebbe raggiungere una capacità di 160 wattora per chilogrammo e fornire un'autonomia di circa 500 km. La batteria a idrogeno-aria è comunque oggi solo una prospettiva a lunga scadenza, dato che non si è ancora trovato il modo di ricaricarla o di rigenerarla, né si è riusciti a ridurne il volume entro limiti convenienti.
Il rifornimento di auto utilizzanti batterie a metallo-aria non sarebbe un grosso problema. Si può agevolmente arrivare a standardizzare le dimensioni delle batterie, in modo da poter sostituire in pochi minuti, alle stazioni di servizio, le batterie scariche (o anche soltanto gli elementi combustibili esauriti) con batterie cariche; d'altra parte, è sempre possibile ricaricare agevolmente le batterie nelle autorimesse durante le soste notturne.
Che si può dire sul costo della vettura elettrica? L'impianto motore potrà costare circa una volta e mezza piú del motore di una vettura a benzina, principalmente a causa del costo delle batterie a metallo-aria. Probabilmente il costo totale di un'auto elettrica sarà del 25% circa superiore a quello di un'auto a benzina di eguali dimensioni (*v. fig. a pag. 39 in alto*); ciò verrebbe però piú che compensato dal basso costo di esercizio, manutenzione e combustibile. Il risparmio, rispetto alla benzina, può infatti essere preventivato intorno al 50 per cento almeno.
Per quanto riguarda la convenienza per i costruttori, la produzione di automobili elettriche potrebbe consentire maggiori profitti, dato che le recenti esperienze di aziende molto specializzate hanno dimostrato che è possibile ottenere profitti piú alti con la produzione di massa di apparecchiature complesse costruite con materiali speciali.
È possibile anche anticipare altri importanti effetti economici causati dall'avvento dell'automobile elettrica. Si verrebbe probabilmente a raddoppiare il consumo di elettricità, e il prezzo di questa potrebbe ridursi del 10-20%, dato che la ricarica delle batterie avverrebbe principalmente di notte, nelle ore in cui la domanda di energia è piú bassa. Tenendo presente che in futuro aumenteranno le centrali termoelettriche a combustibili nucleari, l'automobile elettrica consentirà anche di ridurre notevolmente il consumo di petrolio le cui riserve sono ormai in tutto il mondo limitate.
Estremamente importante è il vantaggio rappresentato dalla diminuzione dell'inquinamento atmosferico. Negli Stati Uniti l'inquinamento dell'aria è costato 15 miliardi di dollari nel 1965; e circa la metà di esso (addirittura tre quarti in California) è stato provocato dai gas di scarico dei motori a combustione interna.
Alcuni studiosi prevedono che, se l'incremento della motorizzazione manterrà il ritmo attuale, entro mezzo secolo la riduzione della percentuale di ossigeno atmosferico e l'aumento dell'anidride carbonica e dei gas nocivi raggiungeranno limiti pericolosissimi per la salute pubblica. Nelle città, in particolare, con l'adozione completa della trazione elettrica, l'aria riassumerebbe una purezza paragonabile a quella dell'aria di campagna.
Siamo cosí condizionati dalla presenza delle attuali automobili che ci è difficile immaginare o valutare i cambiamenti che l'automobile elettrica potrebbe portare nel nostro modo di vita. Il rumore del traffico sarà ridotto a livelli non fastidiosi (certo, resterà il rumore dei pneumatici); la rotazione di un interruttore farà avviare istantaneamente e silenziosamente le automobili a piena potenza senza la necessità di scaldare il motore; gli ingorghi e gli arresti ai semafori risulteranno piú tollerabili senza gli impazienti e dannosi colpi di acceleratore col motore in folle. Gli inconvenienti meccanici diventeranno molto meno comuni: i motori elettrici potranno marciare per migliaia di ore senza manutenzione. Si potrà guidare in aria pulita anche nelle gallerie (che richiederanno una minore ventilazione artificiale). Con gli anni, l'eliminazione completa del motore a benzina trasformerà l'automobile in un veicolo molto piú adatto all'uomo e al suo sistema nervoso.
Naturalmente, l'automobile elettrica non può arrivare dall'oggi al domani. Infatti, per quanto i laboratori specializzati siano relativamente vicini a realizzare batterie rispondenti alle esigenze delle quali si è parlato, la fabbricazione su grande scala di auto che possano sostituire con successo quelle a benzina richiederà parecchi anni. Occorrerà un notevole sforzo per fare accettare queste auto al pubblico, e in seguito occorreranno da dodici a quindici anni perché le industrie possano attrezzarsi per la produzione in grande serie. E anche allora le automobili a benzina seguiteranno a circolare per un'altra decina d'anni. Perciò dobbiamo realisticamente concludere che l'automobile con motore a combustione interna continuerà a dominare la strada per una ventina d'anni e forse piú. Nel frattempo, l'avvento dell'automobile elettrica - ammesso che si produca entro la fine del secolo - dipenderà dall'appoggio che sarà dato alla sua realizzazione.

L'ampiezza dell'intervallo tra due successive ricariche delle batterie di un'auto elettrica ne determina l'autonomia; tale autonomia dipende dalla capacità delle batterie e dalla velocità media di marcia. Le cinque linee oblique rappresentano altrettante velocità medie (cominciando dall'alto, rispettivamente, 60, 55, 50, 45 e 40 chilometri all'ora).

L'autonomia di un'auto elettrica guidata a velocità costante varia secondo la capacità delle batterie e la velocità. Le fasce in colore rappresentano, dall'alto in basso, cinque tipi di batterie: metallo-aria, zinco-aria, argento-zinco, nichel-cadmio e piombo-acido.

Antica automobile elettrica, modello 1930, prodotta dalla Detroit Electric Car Company. A quell'epoca le automobili elettriche, dopo un breve momento di gloria, avevano già ceduto il campo, ma per diversi anni ne furono costruiti esemplari su ordinazione. Attualmente, in Italia esistono alcuni tipi di veicoli elettrici per la pulizia delle strade e il trasporto delle merci nelle stazioni.

Homo erectus

Questa specie, finora designata con nomi diversi, è la probabile progenitrice immediata dell'uomo moderno; essa fornisce inoltre il punto di partenza per ricostruire il ritmo e il modo dell'evoluzione umana.

di William W. Howells

Nel 1891 un giovane anatomista olandese, Eugène Dubois, mentre stava esaminando uno strato ghiaioso ricco di fossili sulle rive del fiume Solo a Giava, trovò ciò che da tempo cercava: un antico cranio umano. L'anno successivo scoprí, nella stessa formazione, un femore umano. Questi due fossili, ora datati ad oltre 700.000 anni fa, furono i primi reperti della specie umana preistorica conosciuta, oggi, come *Homo erectus*. È doveroso, nel 75° anniversario della scoperta di Dubois, fare il punto sulle nostre conoscenze circa quest'uomo primitivo e constatare come esse si siano ampliate e chiarite grazie a piú recenti ritrovamenti di fossili umani di pari antichità e aventi le stesse caratteristiche generali, sí da far considerare l'*Homo erectus* un anello importante della catena evolutiva dell'uomo. Pure interessante, benché su un altro piano, è il vedere come il termine *Homo erectus*, ora accettato da molti studiosi, sia stato prescelto dopo un lungo periodo durante il quale ai fossili umani venivano propinati nomi « scientifici » in modo alquanto capriccioso.

L'uomo ricevette il suo primo nome ufficiale nel 1758, quando Linneo lo chiamò *Homo sapiens*. Linneo tentava semplicemente di mettere ordine nel mondo degli esseri viventi distinguendo le varie specie animali e vegetali e classificandole in un sistema gerarchico: considerando l'uomo contemporaneo, lo inquadrò correttamente come una specie del sistema. I due secoli che seguirono Linneo videro dapprima la formulazione della teoria evoluzionistica e poi l'indagine delle sue basi genetiche; il risultato fu che i concetti sulle relazioni tra le specie, intese come unità del mondo vivente, animale e vegetale, divennero molto piú complessi. Per esempio, una specie può dare origine a due o piú nuove specie, fatto che Linneo riteneva impossibile. Oggi, per definizione, si considera « specie » una serie di popolazioni locali o regionali che possono mostrare differenze secondarie di forma o di colore, ma che per il resto presentano un'uguale struttura e un medesimo corredo genetico e possono quindi incrociarsi per linee interne. Solo quando abbiano accumulato gradualmente tali divergenze nel patrimonio genetico che le probabilità di un incrocio cadano al di sotto di una soglia critica, due popolazioni di questo genere giungono a costituire due specie separate. Oppure, succedendosi le generazioni alle generazioni nell'ambito di una medesima popolazione, quando si verifichi un equivalente numero di cambiamenti, talché la forma terminale sia considerata una specie differente dall'ancestrale. Questo tipo di divergenza, naturalmente, non può essere sottoposta al *test* dell'incrocio, e può essere valutata soltanto in base alla forma fisica dei fossili che vengono presi in esame.

Nel caso dell'uomo vivente, non vi è ragione per rivedere la collocazione fatta da Linneo: *Homo sapiens* è una valida, tipica specie. L'evoluzione, però, non era nell'ambito delle conoscenze di Linneo: egli non aveva mai visto un fossile umano, e ancor meno poteva concepire uomini differenti dall'uomo vivente. Tra i suoi tempi e i nostri, l'applicazione del sistema di classificazione linneiano all'uomo e ai suoi parenti, passati e presenti, divenne quasi un gioco. Accettando le tesi evoluzionistiche, gli studiosi affermarono che l'uomo moderno doveva avere avuto degli antenati e in vario modo anticiparono le effettive scoperte di tali forme ancestrali: il piú grande anticipatore fu probabilmente il biologo tedesco Ernst Heinrich Haeckel. Nel 1889, lavorando sulla base di conoscenze frammentarie, quando i soli resti fossili umani ben conosciuti erano le ossa, relativamente recenti, scoperte 25 anni prima nella valle di Neander in Germania, Haeckel tracciò un ipotetico albero genealogico dell'uomo. Partendo da certe scimmie estinte (postulate) del Miocene, esso giungeva all'*Homo sapiens* attraverso un ipotetico gruppo di « uomini scimmia » (Pitecantropi) e un gruppo piú evoluto, ma ancora privo di parola, di paleantropi (Alali) che Haeckel immaginava come il ceppo, diffuso in tutto il mondo, da cui era disceso l'uomo attuale (*v. figura a pagina 44*). Una creatura che combinava in sé questi vari attributi di *praesapiens* prese forma nella fantasia di Haeckel e dei suoi compatrioti August Schleicher e Gabriel Max. Quest'ultimo eseguí una specie di ritratto di famiglia, e a quest'antenato, che doveva ancora essere scoperto, fu imposto il rispettabile nome linneiano di *Pithecanthropus alalus*.

Se Haeckel vivesse ora, non farebbe mai una cosa simile. Oggi, infatti, il codice internazionale di nomenclatura zoologica richiede che la denominazione di ogni nuovo genere o specie sia corredata dalla pubblicazione dei particolari dell'esemplare scoperto e da una descrizione che ne dimostri in modo irrefutabile la differenza da ogni altro genere e specie noti. L'imbarazzo retrospettivo di Haeckel sarebbe stato comunque cancellato da Dubois, che diede il nome del genere postulato da Haeckel all'uomo di Giava. Il cranio di questo individuo, infatti, era troppo grande per essere quello di una scimmia e troppo piccolo per essere quello di un uomo; il nome *Pithecanthropus* sembrava perfettamente appropriato.

L'uomo di Giava, i cui resti risalenti a 700.000 anni fa furono scoperti da Eugène Dubois nel 1891, rappresenta la piú antica popolazione di « Homo erectus » finora scoperta. Questa recente ricostruzione di G.H.R. von Koenigswald raccoglie anche le caratteristiche dei membri piú primitivi di questa specie, da lui trovati dopo il '30 negli strati fossili piú profondi (Djetis) a Sangiran nel centro di Giava. Le caratteristiche tipiche dell'« Homo erectus » comprendono: cranio piccolo e appiattito, arcate sopracciliari sporgenti, notevole angolo occipitale e cresta per l'attacco dei muscoli nella parte posteriore. La robustezza delle mascelle dà alla specie un aspetto primitivo ma, a parte le dimensioni, i denti dell'« Homo erectus » assomigliano già molto a quelli dell'uomo moderno.

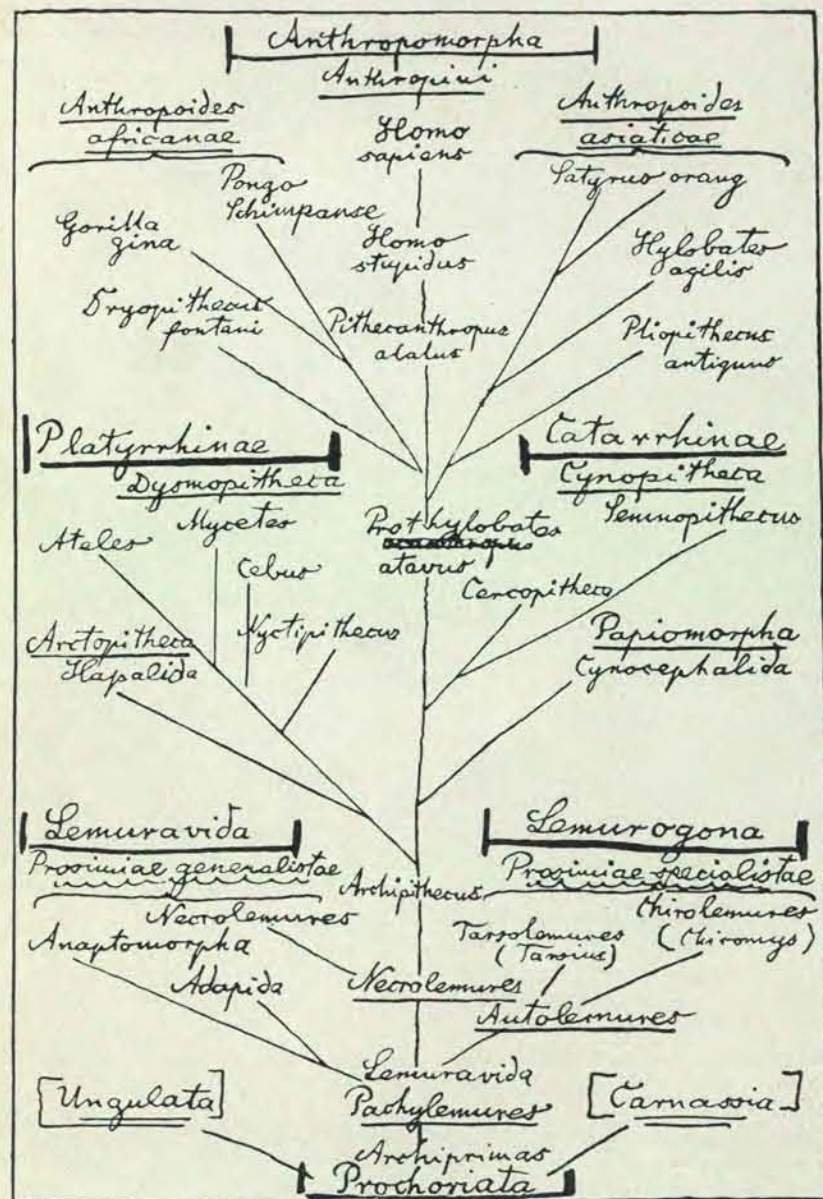
L'uomo di Lantian è il fossile di « Homo erectus » scoperto piú recentemente. Il reperto è costituito da una mandibola e da questa calotta cranica (vista superiore, con le arcate sopracciliari in basso), **dalla quale è parzialmente staccato l'osso occipitale** (sopra). **Fotografia fornita da Woo Ju-kang dell'Accademia cinese delle Scienze di Pechino. L'uomo fossile trovato nello Shensi dovrebbe essere contemporaneo dei piú antichi esemplari di « Homo erectus » provenienti da Giava.**

L'osso occipitale trovato nel 1965 a Vértesszöllös in Ungheria risale ad almeno mezzo milione di anni fa. Il solo fossile umano piú antico trovato in Europa è la mandibola di Heidelberg. L'osso costituisce la parte posteriore del cranio ed è chiaramente visibile la cresta cui si attaccavano i muscoli (linea orizzontale). **Nonostante il suo aspetto primitivo e la considerevole età, questo frammento è stato attribuito alla specie « Homo sapiens ».**

D'altro canto, il femore proveniente dalla stessa formazione era essenzialmente moderno, il che significava che il suo possessore camminava eretto. Dubois, perciò, diede alla sua scoperta il nome specifico di *erectus*. Da allora, la legittimità della definizione di Dubois è stata confermata (da G.H.R. von Koenigswald tra il 1936 e il 1939 e da studiosi indonesiani negli ultimi quattro anni) dalla scoperta a Giava di fossili di uguale o maggiore antichità appartenenti alla stessa popolazione.

Nei 50 anni decorsi tra la scoperta di Dubois e l'inizio della seconda guerra mondiale, vennero alla luce altri importanti reperti fossili umani. I principali, ai nostri fini, sono i seguenti (tra parentesi alcuni dei nomi linneiani loro imposti):

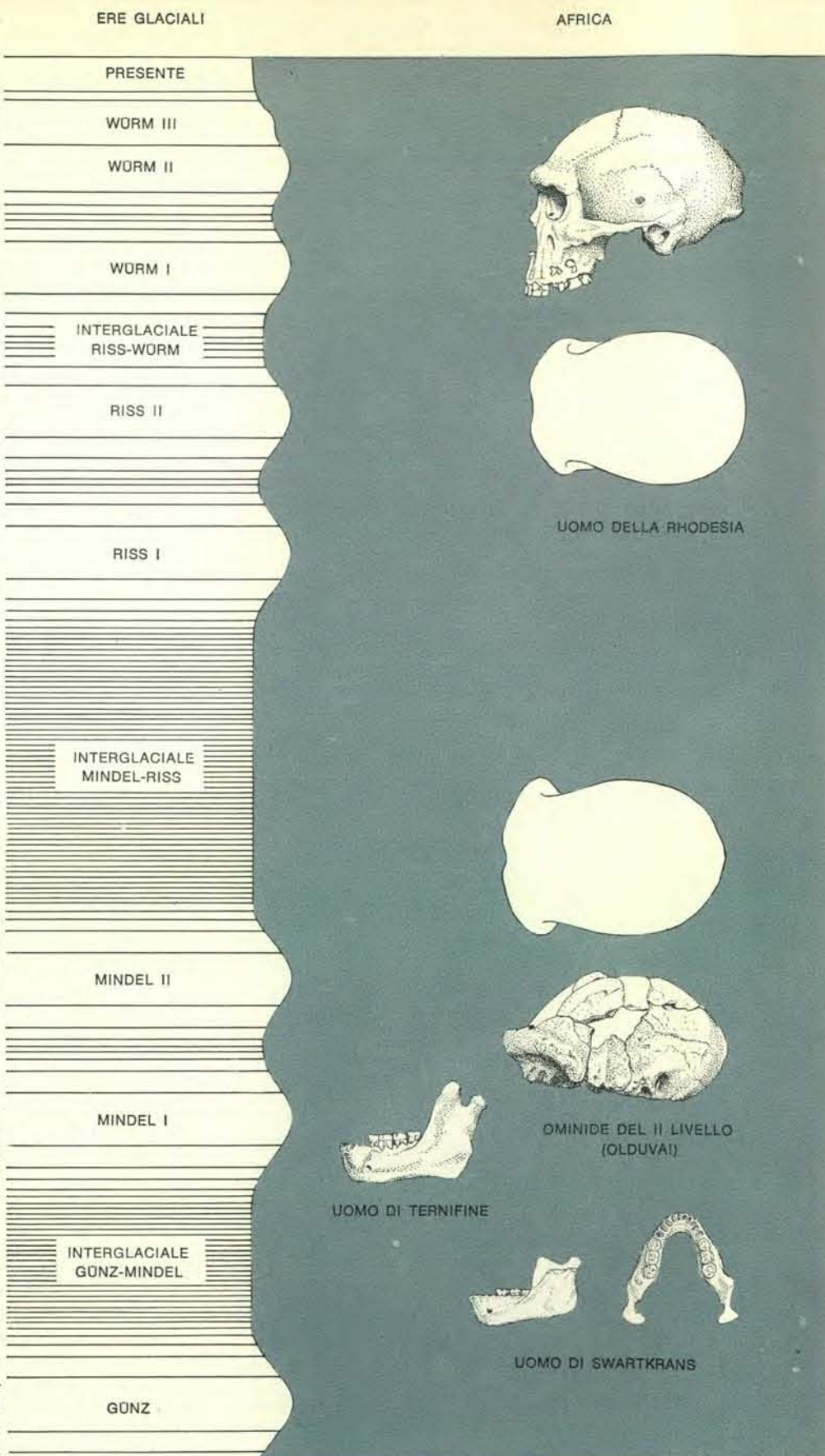
1. La mandibola trovata a Mauer in Germania nel 1907 (*Homo heidelbergensis o Palaeanthropus*).
2. Il cranio quasi completo trovato a Broken Hill in Rhodesia nel 1921 (*Homo rhodesiensis* o *Cyphanthropus*).
3. Vari resti scoperti presso Pechino, in Cina, a cominciare da un dente nel 1923 per finire, nel 1937, con una collezione rappresentante piú di 40 tra uomini, donne e bambini (*Sinanthropus pekinensis*).
4. Parecchi crani trovati nel 1931 e 1932 a Giava sul fiume Solo, non lontano dal luogo dove aveva lavorato Dubois (*Homo soloensis o Javanthropus*).

Era un bel numero di fossili, ma vi fu il pericolo che vi fossero piú nomi che fossili. Il paleoantropologo inglese Bernard C. Campbell ha riportato, per la sola mandibola di Mauer, le seguenti varianti:
Palaeanthropus heidelbergensis, Prothanthropus heidelbergensis, Praehomo heidelbergensis, Maueranthropus heidelbergensis, Europanthropus heidelbergensis e *Europanthropus.*
Spesso i responsabili di questa sovrabbondanza di denominazioni erano colpevoli solo di innocente magniloquenza. Essi non intendevano certo identificare ogni ominide fossile con un genere diverso da quello dell'*Homo,* il che avrebbe implicato un'enorme differenziazione nel ceppo originario umano. Tuttavia, la molteplicità di nomi ha ostacolato la corretta comprensione del significato evolutivo dei fossili che li portavano. Inoltre, gli alberi genealogici della famiglia umana tracciati in questo periodo mostrano una fondamentale somiglianza con l'originale predizione di Haeckel; i reperti piuttosto isolati di forme umane ancestrali vi erano appesi qua e là come ornamenti a un albero di Natale. Benché la loro sistemazione denotasse una certa consapevolezza del fatto « evoluzione », non veniva presentato alcuno schema che fosse in grado di interpretare in maniera intelligibile il ritrovamento fossile. Due problemi vennero infine alla ribalta. Primo: fino a qual punto in realtà i fossili differivano? Secondo: quali erano le differenze in funzione dell'antichità? I fossili piú recenti, quelli che risalivano, grosso modo, a un periodo tra 100.000 e 30.000 anni fa, appartenevano all'uomo di Neanderthal, all'uomo della Rhodesia e all'uomo di Solo. Essi sono stati chiamati tradizionalmente *Homo neanderthalensis, Homo rhodesiensis* e *Homo soloensis,* nomi questi che implicano l'appartenenza dei tre tipi a diverse specie, distinte tra loro e dall'*Homo sapiens.* Questo, a sua volta, porta a concludere che, se popolazioni di Neanderthaliani e di Rhodesiani fossero venute a contatto, probabilmente non si sarebbero incrociate. Una tale conclusione è difficile da sostenere sulla base di fossili, specialmente quando questi sono scarsi e dicono molto poco sulla distribuzione geografica della specie. Oggi, generalmente, si ritiene il contrario, ossia che questi uomini fossili relativamente recenti non costituissero specie distinte, ma, al massimo, specie incipienti, cioè sottospecie o popolazioni in via di trasformazione evolutesi in località molto distanti l'una dall'altra e probabilmente ancora in grado di incrociarsi tra loro o con l'*Homo sapiens.*
Fu anche ben presto chiaro che i fossili di Giava e di Pechino, i piú antichi, non erano molto differenti tra loro; ne seguí la proposta di collocare entrambe le popolazioni in un solo genere (*Pithecanthropus*) abbandonando il nome piú recente (*Sinanthropus*). Anche cosí, però, c'era un genere di troppo per Ernst Mayr dell'Università Harvard. Mayr, grande sostenitore dei fondamenti evoluzionistici della classificazione biologica, affermò che i normali criteri zoologici non permettevano che l'uomo di Giava e l'uomo di Pechino occupassero un « genere » distinto da quello dell'uomo moderno. Secondo lui, il grado di progresso evolutivo che separa il *Pithecanthropus* da noi è cosí piccolo che consente soltanto la collocazione di esso in una « specie » differente. Dopo tutto l'uomo di Giava e l'uomo di Pechino avevano un corpo evidentemente simile al nostro, il che vuol dire che affrontavano il problema della sopravvivenza esattamente con gli stessi nostri adattamenti, benché con un cervello piú piccolo. Da questo punto di vista, l'uomo di Giava si colloca nel genere *Homo* ma, secondo le regole, mantiene il proprio nome originario che ne contraddistingue la specie e diviene, cosí, *Homo erectus.* L'uomo di Pechino ne è distinto solo come sottospecie: *Homo erectus pekinensis.*

Il nome « Pitecantropo », o uomo-scimmia, fu coniato nel 1889 dal biologo tedesco Ernst Haeckel per indicare un supposto precursore dell'« Homo sapiens ». Haeckel pose il genere uomo-scimmia due posti prima dell'uomo moderno nel suo « albero » dell'evoluzione dei primati e ne indicò la specie con il termine « alalus » (Pithecanthropus alalus) cioè « senza parola », in quanto considerava la parola caratteristica esclusivamente umana.

GRADO	EUROPA	NORD AFRICA	AFRICA ORIENTALE	SUD AFRICA	ASIA ORIENTALE	ASIA SUD ORIENTALE
(5)	*HOMO SAPIENS (VERTESSZOLLOS)*					
(4)						*(HOMO ERECTUS SOLOENSIS)*
3	*HOMO ERECTUS HEIDELBERGENSIS*	*HOMO ERECTUS MAURITANICUS*	*HOMO ERECTUS LEAKEYI*		*HOMO ERECTUS PEKINENSIS*	
2						*HOMO ERECTUS ERECTUS*
1			*HOMO ERECTUS HABILIS*	*HOMO ERECTUS CAPENSIS*	*(HOMO ERECTUS LANTIANENSIS)*	*HOMO ERECTUS MODJOKERTENSIS*

Le otto sottospecie di « Homo erectus » oggi accettate universalmente sono qui appropriatamente denominate e ordinate in base al rispettivo grado evolutivo dallo studioso inglese Bernard G. Campbell. L'autore ha aggiunto l'uomo di Lantian al piú basso grado di « Homo erectus » previsto da Campbell e ha inserito un quarto grado per sistemare l'uomo di Solo, un tardo primitivo sopravvissuto. L'autore ha anche aggiunto un quinto grado per il fossile (un osso occipitale) dell'« Homo sapiens » di Vértesszöllös (in colore); **la zona colorata suggerisce che il gruppo di uomini cui appartiene la mascella di Heidelberg sono i suoi probabili antenati.**

Tale semplificazione è qualcosa di piú che il disfarsi di un groviglio di vecchi nomi per accontentare la Commissione Internazionale di Classificazione Zoologica. La riduzione degli ominidi fossili a non piú di due specie e il riconoscimento della specie *Homo erectus* si sono rivelati mezzi sempre piú utili per interpretare uno stadio dell'evoluzione dell'uomo; ciò è divenuto piú manifesto di recente, con i continui rinvenimenti di resti fossili umani e con il perfezionamento dei metodi di datazione. È ora possibile collocare con maggior precisione nel tempo sia le nuove sia le vecchie scoperte, il che è basilare per stabilire il cammino evolutivo dell'uomo negli ultimi milioni di anni. Considerando in primo luogo la datazione, è assodato che il periodo cui va assegnato l'*Homo erectus* occupa la prima parte del Pleistocene medio. I dati che ci permettono di suddividere il Pleistocene con relativa fiducia di non errare sono di varia natura; per esempio, i reperti faunistici associati con i fossili umani rivelano spesso se il clima a quel tempo era caldo o freddo. Il confronto delle comunità animali è anche utile per stabilire correlazioni tra gli intervalli di tempo nei diversi continenti. Un altro significativo progresso consiste nella possibilità di fissare date assolute, il che ci pone in grado di correlare le datazioni relative, basate su sequenze stratigrafiche di reperti rinvenuti in località distanti l'una dall'altra. Il principale tra i metodi di datazione assoluta impiegati attualmente è quello basato sul periodo di decadimento del potassio radioattivo in argo. Un secondo metodo molto promettente si fonda sull'analisi di sedimenti marini nel mare profondo: i mutamenti nelle forme planctoniche contenute in campioni prelevati dal fondo marino riflettono variazioni di temperatura sull'intero globo terracqueo. Quando siano determinate con certezza, mediante metodi fisici o chimici, le età assolute di punti-chiave in sequenze sedimentarie, dovrebbe essere possibile datare tutti i maggiori eventi del Pleistocene. Sulla scorta dei metodi ora accennati, tale periodo ebbe inizio piú di tre milioni di anni fa, e la sua prima maggiore fase fredda (corrispondente alla glaciazione di Günz nelle Alpi) può farsi risalire ad almeno 1,5 milioni di anni fa. L'èra dell'*Homo erectus* si estende, secondo le stime attuali, in termini di datazioni assolute, da circa un milione di anni fa a 500.000 anni fa o, in altre parole, da un certo punto entro il primo periodo interglaciale nell'emisfero settentrionale fino circa al termine della seconda glaciazione (quella di Mindel).
Sulla base dei fossili rinvenuti prima della seconda guerra mondiale (fatta eccezione per la mandibola di Heidelberg che occupa una posizione isolata e un po' particolare), l'*Homo erectus* sembrava essere una popolazione umana dell'Estremo Oriente. I crani di Giava, specialmente quelli provenienti dagli strati inferiori (noti come livelli del Djetis) sono insuperati in seno all'intero gruppo quanto a primitività. Anche i crani degli strati sovrastanti (i livelli del Trinil), in cui Dubois fece la sua prima scoperta, hanno pareti ossee molto spesse che lasciano spazio per un cervello piuttosto piccolo. La loro capacità cranica media è probabilmente di 900 cm^3, valore che si situa tra i 500 cm^3 dei gorilla e i 1400 cm^3 circa dell'uomo moderno. I rappresentanti piú tardi dell'uomo di Giava debbono risalire a oltre 710.000 anni fa, poiché questa è l'età determinata attraverso l'analisi con l'argo-potassio delle tectiti (rocce vetrose formate dall'impatto di meteoriti) rinvenute in strati superiori della stessa formazione.
I fossili di Pechino, piú recenti, risalgono probabilmente alla metà della seconda fase fredda del Pleistocene e sono fisicamente un po' meno primitivi di quelli di Giava. Il cranio è piú grande, la faccia meno prognata e la capacità cranica si avvicina ai 1100 cm^3; ma la conformazione generale del cranio e della mandibola è simile. I denti, sia nell'uomo di Giava sia in quello di Pechino, sono un po' piú grandi che nell'uomo moderno e si distinguono per tracce di un collare di smalto detto « cingolo » attorno ad alcune corone. Questo è un tratto primitivo comune all'uomo e alla scimmia.
Le scoperte di fossili umani dopo la

seconda guerra mondiale hanno portato nuovi contributi al quadro della distribuzione dell'uomo in questo periodo. I ritrovamenti relativi sono:
1949: Swartkrans, Sud Africa. Una mandibola e frammenti di ossa facciali, cui venne imposto originariamente il nome di *Telanthropus capensis*. Furono trovati tra numerosi resti di esseri primitivi subumani noti come Australopiteci. I fossili furono subito riconosciuti dal professor Robert Broom e dal suo collega John T. Robinson come piú evoluti di quelli degli Australopiteci, sia per le dimensioni sia per alcune caratteristiche della mandibola e dei denti. Robinson ora assegna il *Telanthropus* all'*Homo erectus*, collocazione evidente.
1955: Ternifine, Algeria. Tre mandibole e un osso parietale, cui venne dato il nome di *Atlanthropus mauritanicus*. Furono trovati sotto uno spesso banco di sabbia sul letto argilloso di un antico stagno da Camille Arambourg. Denti e mandibole mostrano una stretta somiglianza con i resti dell'uomo di Pechino.
1961: Gola di Olduvai, Tanzania. Una calotta cranica a cui non venne attribuito alcun nome particolare, ma identificata come « Ominide del secondo livello ». Fu scoperta da L.S.B. Leakey. Trovata in una formazione databile provvisoriamente, col metodo argo-potassio, a 500.000 anni fa, si stima che la sua capacità fosse di 1000 cm³. Benché presenti qualche differenza di dettaglio, le sue caratteristiche generali sono quelle delle due sottospecie estremo-orientali dell'*Homo erectus*. A livelli inferiori, in questa stessa importante stazione, furono ritrovati i resti di un certo numero di individui con piccoli crani, ora classificati collettivamente come « Homo habilis ».
1963-1964: Distretto di Lantian, Shensi, Cina. Una mandibola e una calotta cranica furono ritrovate in due diverse località del distretto e furono chiamate *Sinanthropus lantianensis*. La fauna associata indica che i giacimenti di Lantian sono piú antichi di quelli che restituirono l'uomo di Pechino e all'incirca altrettanto antichi della formazione inferiore di Giava. La forma del cranio e della mandibola ben si accorda con questa datazione; ambedue sono chiaramente piú primitivi dei fossili di Pechino. Entrambi differiscono in qualche particolare dalla sottospecie giavanese di *Homo erectus*, ma la capacità cranica calcolata per questo cranio, peraltro grande (780 cm³), è piccola e si avvicina a quella del piú primitivo cranio fossile dissotterrato a Giava.
1965: Vértesszöllös, Ungheria. Osso occipitale isolato trovato da L. Vértes.

La documentazione fossile dell'esistenza di un'unica specie umana arcaica, e non di piú generi e specie di progenitori dell' « Homo sapiens », risulta da questa sistemazione dei singoli reperti le cui età sono distribuite in un periodo di circa 500.000 anni (v. scala a sinistra). I piú antichi fossili conosciuti di « Homo erectus », scoperti a Giava e in Cina, appartengono al primo periodo interglaciale; il piú antico « Homo erectus » proveniente dal Sud Africa è altrettanto antico. Mezzo milione di anni piú tardi, l' « Homo erectus » continuava ad essere rappresentato in Cina dai resti dell'uomo di Pechino e in Africa dal cranio di Olduvai. Nel frattempo questo antenato con piccolo cervello dell'uomo moderno non costituí l'unica specie umana abitante la Terra, né l' « Homo erectus » si estinse al termine di questo periodo di 500.000 anni. Un tipo di uomo che in Europa raggiunse apparentemente il grado di « Homo sapiens » verso la metà o la fine del secondo periodo glaciale del Pleistocene è stato recentemente scoperto a Vértesszöllös (Ungheria). Nel successivo periodo interglaciale l'« Homo sapiens » è rappresentato dalle femmine di Steinheim e di Swanscombe. I resti dell'uomo di Solo indicano che l'« Homo erectus » è sopravvissuto ancora per centinaia di migliaia d'anni.

Questo frammento cranico è il primo fossile umano dell'inizio del Pleistocene medio che sia stato portato alla luce in Europa dopo la mandibola di Heidelberg. Evidentemente, esso risale al periodo medio o finale della glaciazione di Mindel e perciò rientra nell'epoca che abbiamo assegnata all'*Homo erectus*. L'osso è abbastanza spesso e presenta una cresta ben definita per l'attacco della muscolatura del collo, come si può rilevare in tutti i crani di *erectus*. È però diverso dalle ossa occipitali dell'eretto, in quanto piú grande e decisamente meno angolato; questi caratteri indicano un cranio piú evoluto.
Oltre a queste cinque scoperte, qualcos'altro di considerevole importanza è accaduto in questo periodo. La frode di Piltdown, perpetrata prima del 1912, fu finalmente smascherata nel 1953. Le indagini di J. S. Weiner, sir Wilfred Le Gros Clark e Kenneth Oakley hanno permesso di cancellare dall'elenco dei fossili un supposto ominide con una mandibola completamente scimmiesca e cranio umano che difficilmente poteva essere adattato a un qualsiasi schema evolutivo accettabile.
Da questa messe di reperti, molti dei quali cosí recenti, emerge il ritratto di uomini con scheletro simile al nostro ma con cervello molto piú piccolo, con cranio molto piú spesso e appiattito, con arcate sopracciliari sporgenti e un angolo marcato della nuca, con denti un po' piú grandi e con alcuni tratti un po' piú primitivi. Tale ritratto si riferisce a circa mezzo milione di anni di storia dell'uomo ed è ritenuto, ora, il piú probabile per tutto il Vecchio Mondo. Questo è il significato dell'*Homo erectus*: esso ci dà nuove basi per ricostruire il ritmo e il modo dell'evoluzione umana in uno spazio di tempo molto importante.
Probabilmente questo schema è troppo lineare e prima della celebrazione del 100° anniversario della resurrezione dell'*Homo erectus* saranno insorte complicazioni che attualmente non possiamo prevedere, ma già oggi c'è una serie di problemi marginali che non si devono trascurare. Eccone alcuni.
Quale fu il grado di evoluzione che ebbe luogo entro la specie *erectus*? C'è forse un buon margine di sfortuna nelle scoperte che hanno portato alla definizione di *Homo erectus*. Il caso può aver voluto, in altre parole, che si sia isolato solo un segmento di un continuo, dato che non possediamo praticamente alcun reperto immediatamente successivo a questo periodo di 500.000 anni. Sembra probabile - anzi, è praticamente certo - che si ebbe un vero progresso evolutivo, ma i manufatti di questo periodo dicono poco. Come per tutti i fossili, i crani piú antichi, quelli di Giava e di Lantian, sono i piú primitivi e hanno le minori capacità craniche. A Giava, regione con un abbozzo di stratigrafia discernibile, i crani piú recenti mostrano segni di evoluzione rispetto a quelli piú antichi. I crani di Pechino, che sono quasi certamente ancora piú recenti, sono ancora piú progrediti. Bernard Campbell, il quale ha recentemente proposto che tutte le forme note di *Homo erectus* siano formalmente classificate col nome di sottospecie, ne ha ordinato i nomi in funzione del loro relativo grado di evoluzione. Ho aggiunto alla lista di Campbell alcuni nomi che appaiono tra parentesi nella tabella a pag. 45; come mostra quest'ultima, il progresso evolutivo sembra corrispondere abbastanza bene alla successione temporale.
Quali sono le relazioni dell'*Homo erectus* con l'uomo della Rhodesia o l'uomo di Solo? Questo è un punto di particolare importanza, perché sia il fossile africano sia quello giavanese sono ben piú recenti della data ultima qui stabilita per l'*Homo erectus*. L'uomo della Rhodesia potrebbe essere esistito 30.000 anni fa, e potrebbe addirittura essere coesistito con l'uomo moderno. L'uomo di Solo esisteva probabilmente durante l'ultima fase fredda pleistocenica; anche questa è una datazione recente, se confrontata con quelle degli altri fossili di *erectus* qui descritti.
Carleton S. Coon dell'Università di Pennsylvania attribuisce entrambi questi fossili recenti alla specie *Homo erectus* sulla base delle dimensioni dei denti e dell'appiattimento del cranio. La sua attribuzione per l'uomo della Rhodesia può essere discutibile, ma l'uomo di Solo ha caratteri talmente primitivi, cosí simili all'uomo di Giava in molti particolari del cranio e cosí vicini all'uomo di Pechino nella capacità cranica, che la sua classificazione entro la specie *Homo erectus* sembra incontrovertibile.
Il significato di questa sopravvivenza, a distanza di centinaia di migliaia di anni dal periodo che ho indicato, e le relazioni con gli uomini moderni che gli succedettero nell'Asia sudorientale in tempi recenti, sono problemi importanti che ancora attendono una soluzione.
Da dove veniva l'*Homo erectus*? La scoperta di Swartkrans ci rivela che egli apparve laggiú prima che nello stesso luogo fossero scomparsi gli ultimi rappresentanti degli Australopiteci.
Il piú chiaro indizio delle sue origini attualmente in nostro possesso lo troviamo ancora in Africa, e consiste in una serie di fossili reperiti da Leakey e consorte nella gola di Olduvai e battezzati « Homo habilis ». Questi resti sembrano dimostrare la transizione dallo stadio australopitecino allo stadio *erectus* circa 1 milione di anni fa. Tale datazione appare anch'essa un po' troppo tarda, se si considera l'età dei reperti di *Homo erectus* rinvenuti in altri luoghi, particolarmente a Giava.
Quale fu la discendenza dell'*Homo erectus*? Le strade sono del tutto ignote, sia quelle che hanno presumibilmente condotto alle popolazioni di Swanscombe e di Steinheim in Europa durante il secondo periodo interglaciale pleistocenico, sia quelle che sfociano nelle popolazioni, molto piú recenti, della Rhodesia e di Neanderthal. Questo intervallo è privo di testimonianze utili. Soprattutto la natura della linea che porta all'uomo vivente - *Homo sapiens* in senso linneiano - resta argomento teorico. È possibile tuttavia che si trovi qualche indizio.
Resta qui da affrontare un ultimo problema. Quale fu l'effettiva variazione del tipo fisico durante il periodo di esistenza dell'*Homo erectus*? Nel complesso, considerando il tempo e lo spazio interessati, non sembra che tale variazione sia stata molto rilevante; la somiglianza della mandibola dell'uomo del Nord Africa con quella dell'uomo di Pechino, ad esempio, è strabiliante, malgrado le migliaia di chilometri che separavano le due popolazioni. Si è sempre ritenuto, tuttavia, che la mandibola di Heidelberg fosse un po' diversa da tutte le altre e piú vicina a quella dell'uomo moderno per le caratteristiche dei denti. Il solo altro fossile europeo che si avvicina a quello di Heidelberg per antichità è l'osso occipitale recentemente rinvenuto a Vértesszöllös. Anche questo frammento di cranio sembra di forma piú progredita e potrebbe essere appartenuto allo stesso gruppo di uomini cui appartiene la mandibola di Heidelberg, anche se con datazione un po' piú recente. Andor Thoma dell'Università Kossuth di Debrecen in Ungheria, che mi ha gentilmente fornito informazioni sul fossile di Vértesszöllös, sta per pubblicare sulla rivista francese *L'anthropologie* una descrizione completa di tale reperto. Egli ritiene che la sua capacità cranica fosse di circa 1400 cm³, vicina a quella media dell'uomo moderno e molto superiore a quella degli esemplari di *Homo erectus* finora noti. Benché l'osso occipitale sia spesso, è piú ampio e con un'angolatura meno marcata di quello dell'uomo della Rhodesia, certamente ha un aspetto piú moderno di quello dei crani di Solo.
A questo punto, non vedo l'utilità di porre in discussione la stima di Thoma circa il volume cerebrale. Egli conclude che l'uomo di Vértesszöllös era a livello di *sapiens* per quello che riguarda sia la forma che la capacità cranica e lo considera quindi una sottospecie dell'*Homo sapiens*.
Pertanto le ricerche di Thoma attestano la presenza di una popolazione piú progredita, di tipo *sapiens*, contemporanea alle popolazioni di *Homo erectus* di 500.000 o piú anni fa.
Al successivo periodo interglaciale in Europa risalgono i crani di Swanscombe e di Steinheim, generalmente riconosciuti di livello *sapiens*. Sono molto meno massicci del fossile ungherese, e hanno un profilo occipitale piú incurvato e di dimensioni piú piccole; appartenevano chiaramente a individui di sesso femminile, e questo fatto potrebbe spiegare le differenze rilevate.
Il filo delle prove disponibili è esile, senza dubbio, ma non vi si scopre contraddizione, almeno per ora. Ciò che possiamo dedurne è una linea che risale lungo la specie *Homo sapiens* da Swanscombe e Steinheim a Vértesszöllös e finalmente alla matrice originale di Heidelberg. Assomiglia un po' al caso di Solo, alla rovescia: una popolazione di *Homo sapiens* sorprendentemente antica, in contrasto con una possibile popolazione di *Homo erectus* sorprendentemente vicina a noi. In realtà, per ora intravediamo soltanto i contorni di ciò che dobbiamo ancora scoprire. È evidente la necessità di un maggior numero di fossili; per esempio, non potremo collegare l'uomo di Heidelberg con nessun uomo europeo posteriore fino a che non avremo trovato altri frammenti cranici da aggiungere alla sua solitaria mandibola.

Sulla base dei fossili scoperti prima della seconda guerra mondiale, la distribuzione dell' « Homo erectus » sembrava limitata all'Estremo Oriente e all'Asia sudorientale; la sola eccezione era costituita dalla mandibola di Heidelberg. Nel dopoguerra, le scoperte nel Nord e Sudest dell'Africa, e quella d'un nuovo « Homo erectus » nella Cina del Nord hanno allargato la zona da esso occupata.

La struttura tridimensionale della molecola di un enzima

Per la prima volta è stato possibile stabilire la struttura di una molecola enzimatica. In questo articolo è chiaramente descritto in che modo l'enzima in questione, il lisozima, eserciti la sua funzione.

di David C. Phillips

Un giorno del 1922 Alexander Fleming aveva il raffreddore, fatto non certo insolito a Londra. Ma Fleming era un uomo insolito, e trasse vantaggio da quel raffreddore in modo singolare: lasciò cadere alcune gocce del suo muco nasale su una coltura di batteri a cui stava lavorando e mise poi da parte la lastrina per vedere che cosa sarebbe successo. Si può immaginare il suo stupore quando scoprí, qualche tempo dopo, che i batteri vicini al muco si erano dissolti. Per un attimo pensò che si fosse realizzato il suo sogno ambizioso di trovare un antibiotico universale, e dopo una febbrile ricerca stabilí che l'azione antibatterica del muco era dovuta alla presenza di un enzima che chiamò *lisozima* per la sua capacità di « lisare » (sciogliere) le cellule batteriche. Il lisozima fu presto scoperto in molti tessuti e prodotti di secrezione del corpo umano, nelle piante e, in quantità maggiori, nell'albume dell'uovo. In seguito Fleming si accorse che questo enzima non agiva sui batteri piú pericolosi e dovette attendere sette anni prima che un esperimento stranamente simile gli rivelasse l'esistenza di un antibiotico molto efficace: la penicillina.

Il lisozima di Fleming, tuttavia, non appena furono stabilite le sue proprietà, si dimostrò una scoperta ancora piú valida di quanto lo studioso potesse attendersi; con il suo impiego, per esempio, fu possibile studiare molti dettagli della struttura batterica. Possiamo ora dire che il lisozima è il primo enzima di cui sia stata determinata la struttura tridimensionale e di cui si siano comprese le proprietà a livello atomico; tra queste, il modo in cui l'enzima si combina con la sostanza sulla quale agisce, uno zucchero complesso presente nella parete della cellula batterica.

Come tutti gli enzimi, il lisozima è una proteina; la sua costituzione chimica è stata stabilita da Pierre Jollès e collaboratori all'Università di Parigi e da Robert E. Canfield della Facoltà di Medicina e di Chirurgia dell'Università Columbia. Essi hanno trovato che ogni molecola di lisozima ottenuta dall'albume d'uovo consiste in una catena polipeptidica singola, costituita da 129 sub-unità amminoacidiche di 20 differenti tipi. Si forma un legame peptidico quando due amminoacidi si uniscono in seguito all'eliminazione di una molecola d'acqua. Si usa chiamare « residuo » la porzione dell'amminoacido incorporata in una catena polipeptidica; ogni residuo possiede una catena laterale caratteristica. La molecola del lisozima, costituita da 129 residui, è legata interamente in quattro punti diversi da ponti disolfurici formati dall'unione di catene laterali contenenti zolfo in luoghi diversi della molecola (*vedi figura a pagina 55*).

Le proprietà della molecola non possono essere comprese in base alla sola conoscenza della sua costituzione chimica; esse dipendono essenzialmente dalle parti della molecola che si trovano ravvicinate entro le pieghe della sua struttura tridimensionale. Per poter esaminare la struttura della molecola occorre qualche cosa che possa fungere da microscopio. Per fortuna il metodo di indagine è offerto dalle tecniche di analisi della struttura cristallina con i raggi X, tecniche elaborate da sir William Bragg e da suo figlio sir Lawrence Bragg.

Le difficoltà nell'esaminare le molecole a livello atomico nascono, naturalmente, dal fatto che le molecole sono molto piccole. Entro una molecola ogni atomo è, in genere, separato dai suoi vicini di 1,5 angstrom circa ($1,5 \times 10^{-8}$ cm); la molecola del lisozima, che contiene pressoché 1950 atomi, ha l'asse maggiore lungo all'incirca 40 angstrom. Il primo problema è quindi quello di trovare un microscopio nel quale gli atomi possano essere « risolti » l'uno dall'altro, cioè essere visti separatamente. Il potere risolutivo di un microscopio dipende fondamentalmente dalla lunghezza d'onda della radiazione che impiega: in generale, due oggetti non possono essere visti separatamente se la loro distanza è minore di circa la metà della lunghezza d'onda impiegata. La lunghezza d'onda piú breve trasmessa dai microscopi ottici (cioè da quelli che lavorano verso l'estremità ultravioletta dello spettro) è circa 2000 volte piú grande della distanza tra gli atomi. Per « vedere » gli atomi si deve usare una radiazione con una lunghezza d'onda piú breve, cioè i raggi X, che hanno una lunghezza d'onda paragonabile a quella delle distanze interatomiche. L'impiego dei raggi X, però, crea altre difficoltà: non si è infatti ancora trovato alcun metodo soddisfacente per realizzare lenti o specchi che possano far convergere i raggi X fino a formare un'immagine; il problema è quindi quello, evidentemente insolubile, di realizzare un microscopio a raggi X senza lenti né specchi.

ALA	ALANINA	**GLY**	GLICINA	**PRO**	PROLINA
ARG	ARGININA	**HIS**	ISTIDINA	**SER**	SERINA
ASN	ASPARAGINA	**ILEU**	ISOLEUCINA	**THR**	TREONINA
ASP	ACIDO ASPARTICO	**LEU**	LEUCINA	**TRY**	TRIPTOFANO
CYS	CISTEINA	**LYS**	LISINA	**TYR**	TIROSINA
GLU	ACIDO GLUTAMMICO	**MET**	METIONINA	**VAL**	VALINA
GLN	GLUTAMMINA	**PHE**	FENILALANINA		

Un esame attento della teoria della diffrazione nella microscopia ottica, cosí come è stata enunciata da Ernst Abbe sul finire del XIX secolo, mostra che il problema può essere risolto. Abbe dimostrò che la formazione di un'immagine in un microscopio può essere considerata come un processo a due stadi. Nel primo stadio l'oggetto che si esamina provoca una dispersione della luce (o di altra radiazione), che incide su esso, in tutte le direzioni, formando una figura di diffrazione. Questa figura si forma perché le onde luminose disperse da differenti punti dell'oggetto si combinano a produrre un'onda di grande o piccola ampiezza nelle varie direzioni, a seconda che le onde siano in fase o fuori fase l'una rispetto all'altra, cioè concordanti o discordanti. Questo fenomeno può essere osservato molto agevolmente nel caso di onde luminose disperse da una struttura che si ripete regolarmente, ad esempio da un reticolo di diffrazione costituito da linee incise ad intervalli regolari su lastra di vetro.

Nel secondo stadio di formazione dell'immagine, per Abbe, le lenti dell'obiettivo del microscopio raccolgono le onde diffratte e le ricombinano per formare un'immagine dell'oggetto. La cosa piú importante è che la natura dell'immagine dipende fondamentalmente dalla percentuale della figura di diffrazione che viene sfruttata per la sua formazione.

L'analisi strutturale mediante raggi X

In pratica, l'analisi strutturale mediante raggi X fa uso di un microscopio in cui i due stadi della formazione dell'immagine sono stati separati. Dato che i raggi X non possono essere focalizzati per formare direttamente un'immagine, la figura di diffrazione viene registrata e da essa si ottiene, mediante il calcolo, l'immagine. Storicamente, il metodo non venne sviluppato sulla base di questo ragionamento, ma tale modo di vederlo (che fu suggerito per la prima volta da Lawrence Bragg) ne mette in evidenza le caratteristiche essenziali, nonché la principale difficoltà di applicazione. Se registriamo la densità delle onde diffratte, invece di focalizzarle per formare un'immagine, perdiamo un elemento essenziale di informazione, cioè le relazioni di fase tra le varie onde diffratte. Senza questo elemento, l'immagine non può essere ricostituita; bisogna quindi trovare qualche mezzo per ricuperarlo. È il ben noto problema della fase nella cristallografia a raggi X, e l'utilità del metodo dipende dalla soluzione del problema.

Il termine « cristallografia a raggi X » ci ricorda che, in pratica, il metodo fu ideato (ed è ancora applicato) per lo studio di singoli cristalli.

Cristalli adatti allo studio possono contenere anche 10^{15} molecole identiche in una disposizione regolare; infatti le molecole di un cristallo di questo tipo diffrangono la radiazione X come se fossero una sola molecola gigante.

Il cristallo agisce come un reticolo di diffrazione tridimensionale, cosicché le onde diffuse sono contenute in un numero limitato di direzioni possibili.

Per ottenere un'immagine tridimensionale della struttura bisogna misurare l'intensità dei raggi X diffusi in queste diverse direzioni; poi deve essere risolto in qualche modo il problema della fase, e le misure devono essere elaborate con un calcolatore.

I recenti successi di questo metodo nello studio di strutture proteiche è dipeso in gran parte dallo sviluppo di calcolatori elettronici capaci di eseguire i necessari calcoli. Tali successi sono però dovuti soprattutto alla scoperta nel 1953, da parte di M. F. Perutz del Medical Research Council Laboratory of Molecular Biology di Cambridge, del fatto che per risolvere il problema della fase nello studio della proteina cristallina può essere usato il metodo della « sostituzione isomorfa ».

Tale metodo si basa sulla preparazione e lo studio di una serie di cristalli di proteina in cui vengono introdotti, senza alterare in altro modo la struttura cristallina, atomi pesanti, come ad esempio atomi di uranio. I primi risultati positivi con questo metodo furono ottenuti sulla mioglobina di capodoglio da J. C. Kendrew del Medical Research Council Laboratory e sull'emoglobina di cavallo da Perutz. Per tale ricerca entrambi questi scienziati ricevettero il Premio Nobel per la chimica nel 1962.

Poiché i raggi X sono diffusi dagli elettroni che si trovano all'interno della molecola, il calcolo della figura di diffrazione rivela la distribuzione degli stessi entro il cristallo. La densità elettronica è di solito calcolata in punti regolarmente intervallati e l'immagine è resa visibile tracciando linee di contorno tra punti di uguale densità elettronica. Se queste mappe di contorno sono tracciate su lastre di plastica trasparente, si può ottenere un'immagine tridimensionale ponendo le mappe l'una sopra l'altra. La quantità di dettagli che possono essere visti in una tale immagine dipende dal potere risolutivo di questo vero e proprio microscopio, cioè dalla sua « apertura », che è l'entità della figura di diffrazione inclusa nella formazione dell'immagine. Se si riesce a includere onde diffratte attraverso angoli sufficientemente ampi (corrispondenti a una larga apertura), gli atomi appaiono come singoli picchi nella mappa dell'immagine. A un grado inferiore di risoluzione appaiono gruppi di atomi non distinti, con forme caratteristiche grazie alle quali possono essere riconosciuti. La struttura tridimensionale del lisozima cristallizzato dall'albume di uovo di gallina è stata determinata in dettaglio atomico con il metodo dei raggi X dal nostro gruppo alla Royal Institution di Londra. È il laboratorio in cui H. Davy e M. Faraday fecero le loro scoperte fondamentali durante il XIX secolo e in cui il metodo dell'analisi strutturale mediante raggi X fu sviluppato tra le due guerre mondiali dal brillante gruppo di ricercatori capeggiato da W. Bragg e che comprendeva J. D. Bernal, K. Lonsdale, W. T. Astbury, J. M. Robertson e molti altri. La nostra ricerca sul lisozima fu iniziata nel 1960 quando R. J. Poljak, un ricercatore argentino nostro ospite, dimostrò che si potevano preparare cristalli adatti contenenti atomi pesanti. Da allora hanno avuto parte importante nel lavoro C. C. F. Blake, A. C. T. North, V. R. Sarma, R. Fenn, D. F. Koenig, L. N. Johnson e G. A. Mair.

Nel 1962 fu ottenuta un'immagine strutturale a bassa risoluzione che rivelava la forma generale della molecola e mostrava che la disposizione della catena polipeptidica è ancora piú complessa di quanto lo sia nella mioglobina.

Questa immagine a bassa risoluzione fu calcolata dalle ampiezze di circa 400 massimi di diffrazione misurati usando cristalli di proteina nativa e cristalli contenenti ciascuno dei tre differenti atomi pesanti. Nel 1965, dopo lo sviluppo di piú efficienti metodi di misura e di calcolo, fu calcolata un'immagine sulla base di circa 10.000 massimi di diffrazione che risolveva particolari distanti tra loro 2 angstrom.

Se si eccettua l'evidenziazione di pochi ioni cloruro ben separati, presenti perché il lisozima è cristallizzato da una soluzione contenente cloruro di sodio, l'immagine a 2 angstrom di risoluzione non mostra ancora i singoli atomi come massimi separati nella mappa di densità elettronica. Però il livello di risoluzione è sufficiente per rendere chiaramente riconoscibili molti dei raggruppamenti atomici.

La molecola del lisozima

La catena polipeptidica principale appare come un nastro continuo di den-

sità elettronica che corre attraverso l'immagine con protuberanze regolarmente spaziate, caratteristiche del gruppo carbonilico (CO), presente in ogni legame peptidico. In alcune zone la catena è ripiegata in modi divenuti ormai familiari sia attraverso gli studi teorici svolti sulla configurazione dei polipeptidi, sia attraverso le analisi strutturali della mioglobina e di proteine fibrose, come la cheratina dei capelli. I residui amminoacidi del lisozima vengono designati d'ora in poi con numeri; i residui da 5 a 15, da 24 a 34 e da 88 a 96 formano tre tratti della « α-elicoide », cioè della struttura a spirale proposta da Linus Pauling e Robert B. Corey nel 1951 e riconosciuta da Kendrew e collaboratori come la disposizione più comune della catena polipeptidica nella mioglobina. Le spirali nel lisozima, però, appaiono un po' distorte rispetto alla forma « classica », nella quale 4 atomi di ogni gruppo peptidico (carbonio, ossigeno, azoto e idrogeno) sono disposti su un piano che è parallelo all'asse dell'α-elicoide. Nella molecola del lisozima i gruppi peptidici nei diversi giri della spirale tendono a disporsi leggermente ruotati in modo che, rispetto all'asse della spirale, i gruppi CO risultano piú esterni e i gruppi NH sono, invece, piú interni.

L'entità della rotazione varia: è minima nella spirale formata dai residui da 5 a 15 e considerevole in quella formata dai residui da 24 a 34.

L'effetto della rotazione è tale che ciascun gruppo NH non è diretto verso il gruppo CO di un residuo amminoacidico (che si trova 4 residui prima lungo la catena), ma si dirige invece in una posizione intermedia tra i gruppi CO del 3° e del 4° residuo precedenti.

Quando il gruppo NH punta direttamente verso il gruppo CO del quarto residuo precedente, come accade nella α-elicoide classica, forma con il gruppo CO un legame a idrogeno (debole legame chimico nel quale un atomo di idrogeno fa da ponte). Nelle spirali del lisozima il legame a idrogeno si forma tra gruppi CO, dando cosí origine a una struttura intermedia tra quella di un α-elicoide e quella di una spirale piú simmetrica ternaria, già discussa da L. Bragg, Kendrew e Perutz nel 1950. Esiste poi un breve tratto di spirale (residui da 80 a 85), in cui la disposizione dei legami a idrogeno è pure molto simile a quella della spirale ternaria, e anche un giro isolato (residui da 119 a 122) di spirale ternaria. Inoltre, il peptide all'estremità della spirale (residui da 5 a 15) ha la conformazione di una spirale ternaria e il legame a idrogeno del suo gruppo NH si forma con il CO di 3 residui anziché di 4. In parte a causa di queste irregolarità nella struttura del lisozima, la proporzione della sua catena polipeptidica formante un'α-elicoide è difficile da calcolare in modo valido per un confronto con i dati ottenuti con altri metodi; ad ogni modo, tale proporzione è certamente inferiore alla metà di quella osservata nella mioglobina, in cui le regioni a struttura elicoidale rappresentano circa il 5% della catena.

La molecola del lisozima include però un esempio di un'altra struttura regolare predetta da Pauling e Corey. È questa il « ripiegamento antiparallelo » che si ritiene essere la struttura fondamentale della proteina fibrosa della seta, e nella quale, come suggerisce il nome, due tratti della catena polipeptidica corrono parallelamente l'uno all'altro in direzioni opposte. Anche questa struttura è stabilizzata da legami a idrogeno tra i gruppi NH e CO della catena principale.

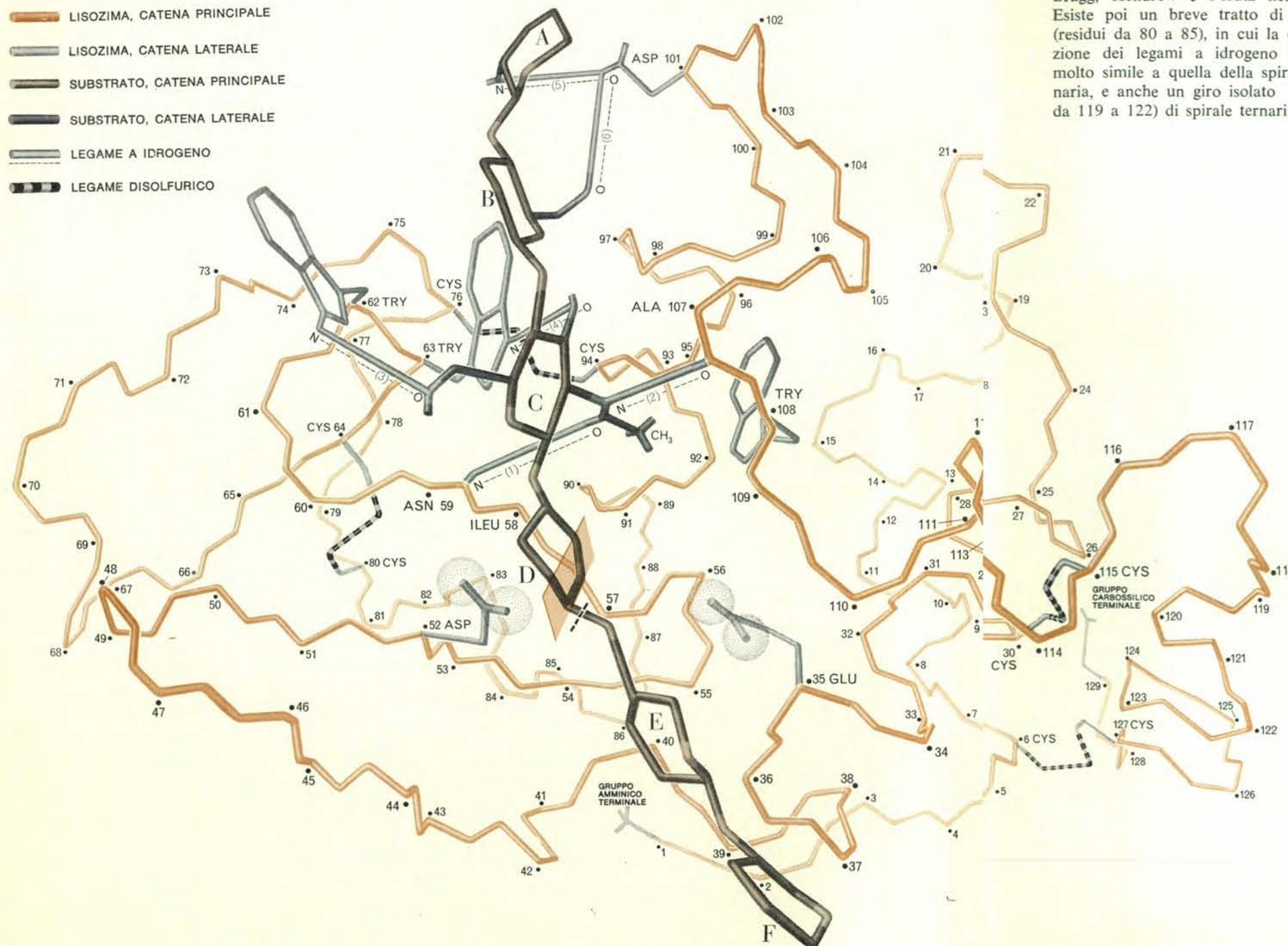
I residui 41-45, 50-54 nella molecola del lisozima danno origine a una struttura di questo tipo e sono collegati tra loro dai residui 46-49 piegati ad arco tra i due tratti di catena di uguale lunghezza. Il resto della catena polipeptidica è piegato in forme irregolari che non possono essere spiegate in breve e semplicemente.

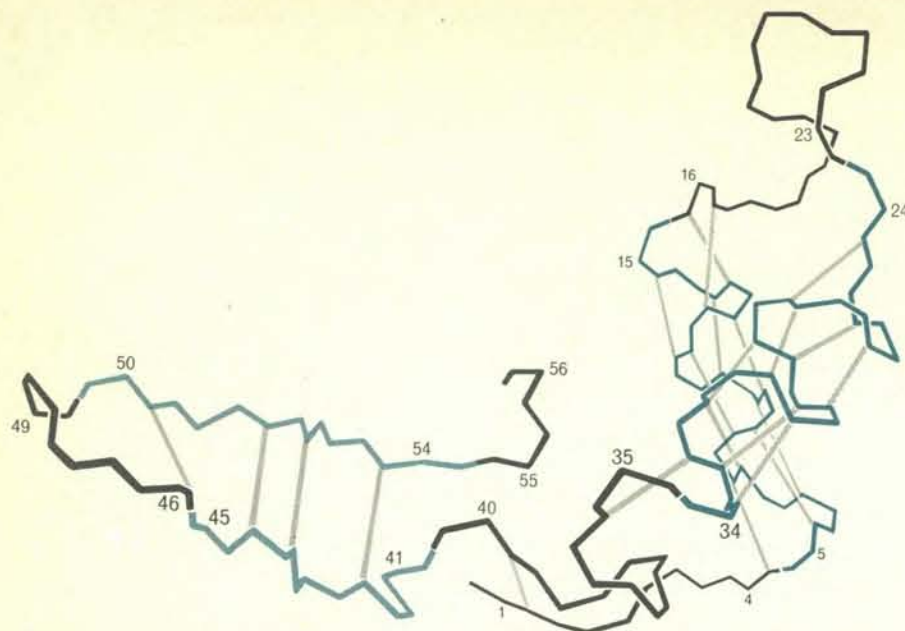
Benché il grado di risoluzione raggiunto nella immagine descritta non fosse sufficiente per distinguere i singoli atomi, molte delle catene laterali caratteristiche dei residui amminoacidici furono facilmente identificabili in base alla loro forma generica.

I quattro ponti disolfurici, ad esempio, sono rappresentati da piccoli segmenti di alta densità elettronica corrispondenti ai due atomi di zolfo, relativamente densi, presenti in ciascuno di essi. I sei residui di triptofano furono anch'essi facilmente riconoscibili dall'area estesa della densità elettronica prodotta dalle grandi strutture a doppio anello presenti nelle loro catene laterali. Anche molti altri residui furono facilmente identificati; tuttavia l'elemento piú importante per una rapida e fedele interpretazione dell'immagine fu il fatto che si disponeva già dei risultati dell'analisi chimica. Con il loro aiuto, piú del 95% degli atomi della molecola furono facilmente identificati e localizzati con una approssimazione di circa 0,25 angstrom. Ulteriori studi sono in corso per accrescere la precisione della localizzazione degli atomi, ma già ora esiste una quasi completa descrizione della molecola del lisozima (*v. figura alle pagine 56-57*). Dallo studio di tale molecola e dai risultati di ulteriori esperimenti, possiamo cominciare a proporre delle risposte a due importanti quesiti: in che modo una molecola di questo tipo assume la conformazione osservata? in che modo svolge la sua funzione di enzima o catalizzatore biologico?

L'esame della molecola del lisozima suggerisce immediatamente due considerazioni generali sulla sua conformazione che si accordano perfettamente con quelle tratte tempo fa nello studio della mioglobina.

Risulta subito evidente che certi residui con catene laterali acide o basiche che si ionizzano o si dissociano a contatto con l'acqua sono tutti situati sulla superficie della molecola, piú o meno facilmente raggiungibile dal liquido circostante. Tali catene laterali « polari » sono idrofile, cioè hanno affinità per l'acqua; esse si trovano nei residui degli acidi aspartico e glutammico e inoltre nei residui di lisina, arginina e istidina, che possiedono gruppi basici nella catena laterale.

D'altronde, la maggior parte delle catene laterali spiccatamente non polari e idrofobe (come per esempio quelle dei residui di leucina e isoleucina) sono schermate rispetto al liquido circostante da parti piú polari della molecola. In pratica, come fu previsto da sir Eric Rideal (che fu direttore della Royal Institution) e da Irving Langmuir, il lisozima, allo stesso modo della mioglobina, può a ragione essere descritto come una goccia d'olio racchiusa in un involucro polare. A questo punto è importante rilevare che l'ambiente circostante ad ogni molecola allo stato cristallino non è fondamentalmente diverso dal suo ambiente naturale nella cellula vivente. I cristalli stessi includono una grande quantità (circa il 35% in peso) di liquido di cristallizzazione costituito per la maggior parte da acqua. È probabile perciò che l'effetto del liquido circostante sulla conformazione della proteina sia identico e nei cristalli e in soluzione. Risulta chiaro allora che la conformazione osservata è la piú indicata perché in essa le catene laterali idrofobe sono tenute fuori dal contatto con il liquido circostante, mentre le catene laterali polari vi sono generalmente esposte. In tal modo l'energia libera del sistema proteina + solvente risulta minima, in parte per il fatto che vengono favorite un grande numero di interazioni tra gruppi affini entro la molecola proteica e tra la molecola e il liquido circostante, e in parte a causa del disordine relativamente alto delle molecole di acqua che sono in contatto solo con altri gruppi polari di atomi.

Mappa del lisozima e del substrato che mostra a colori la catena principale di ogni molecola. Le catene laterali sono state omesse eccetto quelle che danno origine ai 4 legami disolfurici che tengono assieme la molecola del lisozima e quelle che forniscono le terminazioni per i legami a idrogeno che tengono legato il substrato al lisozima. I tre anelli superiori del substrato (A, B e C) sono collegati all'enzima sottostante da 6 legami a idrogeno principali, identificati con numeri che corrispondono alla descrizione nel testo.

La molecola del lisozima compie la propria funzione quando scinde il substrato tra gli anelli D e S. Si noti la distorsione del primo che forza 4 dei suoi atomi in un piano.

I primi 56 residui nella molecola del lisozima contengono una proporzione di regioni simmetricamente organizzate piú elevata di quanto non avvenga per il resto della molecola. I residui 5-15 e 24-34 (a destra nell'illustrazione) **formano due regioni in cui i legami a idrogeno** (indicati con tratteggi grigi) **mantengono i residui in una configurazione a spirale che è simile a quella classica « α elicoide ». I residui 41-45 e 50-54** (a sinistra) **si ripiegano uno verso l'altro a formare un « foglio ripiegato » tenuto insieme anch'esso da legami a idrogeno. Inoltre il legame a idrogeno tra i residui 1 e 40 blocca i primi 40 residui in una struttura compatta che può realizzare subito questo ripiegamento prima che la sintesi della molecola si sia completata** (vedere lo schema in alto nelle due pagine 60 e 61).

Sulla scorta di queste considerazioni generali molti ricercatori si orientano ora verso la possibilità di predire la configurazione di una molecola proteica basandosi esclusivamente sulla sua formula chimica.
Sembra però che l'impresa di esplorare tutte le possibili configurazioni nella ricerca di quella a piú bassa energia libera resti al di là delle possibilità di qualsiasi calcolatore immaginabile.
Da un calcolo approssimativo per difetto risulta che per qualsiasi ricerca generale sulla molecola del lisozima, volta a trovare la conformazione in cui l'energia libera del sistema è minima, si dovrebbero prendere in considerazione 10^{129} differenti conformazioni. Dato che questo numero è di gran lunga piú grande del numero totale di tutte le particelle esistenti nell'universo, è chiaro che se si vogliono portare a termine calcoli di questo tipo bisogna introdurre premesse e ipotesi semplificative.

Il ripiegamento del lisozima

Da qualche tempo Peter Dunnill e io stiamo lavorando per mettere a punto un modello del modo di ripiegarsi della molecola proteica che consenta di calcolare praticamente la conformazione in cui l'energia libera risulta minima e che, al tempo stesso, sia qualitativamente in accordo con la struttura che è stata determinata per la mioglobina e il lisozima. Questo modello si basa sulla attuale conoscenza del modo in cui le proteine sono sintetizzate nella cellula vivente. Per esempio, è noto, dagli esperimenti di H. M. Dintzis, C. B. Anfinsen e R. Canfield, che le molecole proteiche vengono sintetizzate a partire dall'estremità della catena polipeptidica contenente il gruppo amminico.
Il meccanismo di sintesi, che coinvolge le particelle intracellulari chiamate ribosomi agenti in collaborazione con due tipi di acido ribonucleico (RNA « messaggero » e RNA solubile o « di trasporto »),* è sempre meglio conosciuto nelle sue tappe fondamentali, benché restino ignoti i particolari dell'ambiente circostante alla catena proteica in via di formazione. Tuttavia sembra ragionevole ipotizzare che, col procedere della sintesi, l'amminogruppo terminale della catena si allontani sempre piú dal punto di attacco al ribosoma, e che il ripiegamento della catena proteica verso la configurazione tipica della proteina nativa inizi a tale estremità ancora prima che la sintesi sia completa.
Secondo il nostro presente modo di vedere, parti della catena polipeptidica, particolarmente quelle vicine al gruppo amminico terminale, possono ripiegarsi in configurazioni stabili suscettibili di riconoscimento nella molecola completa e che agiscono come « stampi interni », cioè centri attorno ai quali si ripiega il resto della catena (*v. schema in alto nelle due pagine 60 e 61*).
Può perciò essere utile cercare configurazioni stabili di parti della catena polipeptidica, evitando cosí di studiare tutte le possibili configurazioni dell'intera molecola.
Un esame della molecola del lisozima dà un appoggio qualitativo a queste idee (*v. figura in questa pagina*).
I primi 40 residui a partire dall'estremità provvista di un amminogruppo terminale formano una struttura compatta (il residuo 1 e il residuo 40 sono legati con un legame a idrogeno) con una parte interna idrofoba e una superficie relativamente idrofila che, probabilmente, si è piegata in questo modo o in un modo simile prima della sintesi completa della molecola.
Può anche essere importante osservare che questa porzione di molecola rispetto alle altre comprende un maggior numero di strutture α-elicoidali.
Questi primi 40 residui comprendono una miscela di catene laterali idrofobe e idrofile, ma i successivi 14 residui della sequenza sono tutti idrofili. È interessante e forse ha un profondo significato il fatto che questi sono i residui presenti nella struttura a ripiegamento antiparallelo che si trovano fuori dal contatto con la porzione globulare della molecola formata dai primi residui. Alla luce del nostro modello relativo al modo di ripiegarsi della proteina, la spiegazione ovvia è che non c'è alcun motivo che spinga questi re-

* *RNA-m = RNA messaggero; RNA-s = RNA solubile o « di trasporto ».*

Modello bidimensionale della molecola del lisozima (pagina a fronte). **Il lisozima è una proteina contenente 129 subunità amminoacidiche, comunemente chiamate residui** (v. sopra la legenda delle abbreviazioni). **Questi residui formano una catena polipeptidica che è collegata in 4 punti da legami incrociati disolfurici (-S-S-). La sequenza amminoacidica del lisozima fu determinata indipendentemente da P. Jollès e collaboratori dell'Università di Parigi e da R. E. Canfield della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università Columbia. La struttura tridimensionale della molecola del lisozima è stata ora chiarita con l'aiuto della cristallografia a raggi X dall'autore e collaboratori alla Royal Institution di Londra. Una rappresentazione della struttura tridimensionale della molecola appare alle pp. 56-57. La funzione del lisozima è quella di scindere una particolare molecola a lunga catena, uno zucchero complesso che si trova nella parete di molte cellule viventi. Le molecole su cui agiscono gli enzimi si dicono substrati. Il substrato del lisozima si colloca in una fessura, o tasca, formata dalla struttura tridimensionale della molecola del lisozima. Nel modello bidimensionale raffigurato nella pagina a fronte i residui amminoacidi che delimitano la tasca si distinguono per il colore verde cupo.**

Il modello tridimensionale della molecola del lisozima, disegnato da I. Geis, è basato sul modello reale costruito alla Royal Institution di Londra dall'autore e collaboratori. Il disegno ci permette di seguire e di distinguere i legami chimici che tengono insieme la catena polipeptidica principale ed i legami in 129 catene laterali, una per ogni residuo amminoacidico.
La molecola è ripiegata in modo da formare una fessura che tiene in sito la molecola del substrato mentre viene rotta in due. Il disegno alla pagina seguente mostra come il substrato si adatta nella fessura. Le palle rosse rappresentano gli atomi di ossigeno che svolgono un'importante funzione nella rottura del substrato.

sidui idrofili a piegarsi a contatto con la prima parte della catena, fino a quando non c'è bisogno di evitare che i residui idrofobi, 55 (isoleucina) e 56 (leucina), siano a contatto con il liquido circostante.

Sembra ragionevole supporre che a questo stadio i residui dal 41 al 54 si ripieghino su se stessi formando una struttura « a foglio ripiegato » e nascondendo le catene laterali idrofobe nella piega idrofoba iniziale.

Motivi simili sembrano regolare il modo di piegarsi del resto della molecola. In breve, i residui 57-86 si ripiegano a contatto con la struttura « a foglio ripiegato » in modo tale che a questo stadio del processo - naturalmente se esso segue questo andamento - la catena ripiegata forma una struttura con 2 ali disposte ad angolo l'una rispetto all'altra. I residui dall'86 al 96 compreso formano un tratto di α-elicoide, un lato della quale è prevalentemente idrofobo, grazie a un appropriato alternarsi di residui polari e non polari in quella parte della sequenza.

Questa spirale si colloca nello spazio tra le due ali formate dai precedenti residui, con il lato idrofobo racchiuso entro la molecola. Lo spazio tra le due ali non è però completamente riempito dalla spirale: rimane una profonda fessura lungo un lato della molecola.

Come vedremo, questa fessura forma il sito attivo dell'enzima.

I restanti residui si ripiegano attorno all'unità globulare formata dalla porzione estrema della catena polipeptidica che ha un amminogruppo terminale.

Questo modello del ripiegamento della molecola può essere controllato in diversi modi, per esempio studiando la configurazione del primo blocco isolato di 40 residui, sia isolandoli direttamente (dopo la rimozione del resto della molecola) sia mediante il calcolo. Alla fine, naturalmente, il modello sarà considerato soddisfacente solo se ci aiuterà a capire il modo di ripiegarsi delle altre molecole proteiche, partendo dalla conoscenza della loro struttura chimica.

L'attività del lisozima

Per capire come il lisozima provochi la dissoluzione dei batteri, dobbiamo sottoporre a un esame abbastanza approfondito la struttura della parete cellulare batterica. In seguito ai primi lavori fatti indipendentemente da K. Meyer e E.B. Chain, seguiti da M.R.J. Salton dell'Università di Manchester e da molti altri, le strutture delle pareti cellulari batteriche e l'effetto del lisozima su di esse sono ormai sufficientemente noti. La parte importante della parete cellulare, per quello che riguarda il lisozima, è costituita da molecole di un amminozucchero, simile al glucosio, legate tra di loro in lunghe catene polisaccaridiche, che sono a loro volta connesse l'una all'altra da brevi tratti di catene polipeptidiche. Questa porzione di ogni parete cellulare probabilmente forma un'enorme molecola, una « macromolecola a sacco », come W. Weidel e H. Pelzer l'hanno chiamata.

Le molecole dell'amminozucchero presenti in queste strutture polisaccaridiche sono di due tipi: ciascun tipo possiede un gruppo acetammidico laterale ($-NH\ CO\ CH_3$), ma in un solo tipo è presente anche un gruppo piú grande, cioè una catena laterale costituita da un residuo dell'acido lattico (*v. figura a piè di pagina 60*).

Uno di questi amminozuccheri è noto come N-acetil-glucosammina (NAG); l'altro come acido N-acetilmuramico (NAM). Essi si alternano nelle catene polisaccaridiche e sono collegati tra loro da ponti costituiti da un atomo di ossigeno (legami glicosidici) che lega gli atomi di carbonio in posizione 1 e in posizione 4 appartenenti a due zuccheri consecutivi in forma ciclica; questo è lo stesso legame che unisce i residui di glucosio nella cellulosa. Le catene polipeptidiche, che legano tra loro questi polisaccaridi, sono unite ai residui NAM tramite la catena laterale, la quale è costituita da un residuo di acido lattico, che si diparte dall'atomo di carbonio in posizione 3 delle molecole di zucchero costituenti il NAM.

Si è dimostrato che il lisozima rompe i legami che uniscono il carbonio 1 in NAM al carbonio 4 in NAG, e non gli altri. È stato anche dimostrato che esso scinde la chitina, un altro comune polisaccaride naturale che si trova nell'esoscheletro dell'aragosta e che contiene solo NAG.

Fin dal tempo delle ricerche di S. Arrhenius, compiute in Svezia alla fine del XIX secolo, si pensava che gli enzimi agissero attraverso la formazione di composti intermedi con i loro substrati, cioè le sostanze di cui essi catalizzano le reazioni chimiche. Una teoria vera e propria del complesso enzima-substrato, che è alla base di tutte le presenti supposizioni sull'attività enzimatica, fu chiaramente enunciata da L. Michaelis e M. Menton in una importante comunicazione pubblicata nel 1913. Il concetto base, nella sua forma piú schematica, è che la molecola dell'enzima presenta sulla superficie un sito al quale può legarsi la molecola del substrato in un modo molto preciso. Successivamente gruppi reattivi di atomi presenti nell'enzima promuovono nel substrato la reazione chimica desiderata.

Il nostro obiettivo immediato perciò era di trovare la struttura di un complesso reattivo tra il lisozima e il suo substrato polisaccaridico, nella speranza che saremmo stati, in seguito, capaci di riconoscere i gruppi di atomi attivi nell'enzima e di capire come agiscono.

I nostri studi iniziarono basandosi sull'osservazione di M. Wenzel e colleghi della Università Libera di Berlino che l'enzima non può funzionare quando è in presenza di N-acetilglucosammina (NAG). Questa piccola molecola agisce come un inibitore competitivo dell'attività enzimatica, e dato che essa è parte della grossa molecola del substrato su cui normalmente agisce l'enzima, è probabile che faccia questo legandosi all'enzima nello stesso modo in cui si lega parte del substrato. Essa impedisce cioè all'enzima di agire non permettendo al substrato di legarglisi. Altre molecole semplici di amminozuccheri, tra cui il trisaccaride composto da 3 unità NAG, si comportano nello stesso modo. Noi perciò decidemmo di studiare il modo di legarsi di queste molecole di zuccheri alle molecole di lisozima, con la speranza di apprendere qualche cosa sulla struttura del complesso enzima-substrato.

La mia collega L. Johnson trovò subito che cristalli contenenti le molecole di zucchero legate al lisozima possono essere preparati molto semplicemente aggiungendo lo zucchero alla soluzione da cui si separano i cristalli del lisozima e in cui vengono tenuti in sospensione. Le piccole molecole si diffondono nei

Il modello del substrato mostra come esso si colloca nella fessura della molecola di lisozima. Tutti gli atomi di carbonio del substrato appaiono in color viola. La parte del substrato in intimo contatto con l'enzima sottostante è una catena polisaccaridica consistente di 6 strutture cicliche, ciascuna delle quali è un residuo della molecola di un amminozucchero.

Il substrato nel modello è costituito da 6 residui identici di un amminozucchero chiamato N-acetilglucosammina (NAG). Nel substrato vero un residuo su due è l'amminozucchero noto come acido N-acetilmuramico (NAM). La ricostruzione è basata su studi a raggi X del modo con cui l'enzima si lega ad un trisaccaride, formato da 3 unità NAG, che riempie la parte superiore della fessura. La disposizione delle unità NAG nella parte inferiore della fessura è stata elaborata con l'aiuto di modelli tridimensionali. Il substrato è unito all'enzima da una rete complessa di legami a idrogeno. Nel modello cosí rappresentato ogni tratto diritto della catena rappresenta un legame interatomico. Gli atomi stanno alle intersezioni e agli angoli della struttura. Eccetto che per le palle rosse che rappresentano i 4 atomi di ossigeno, attivi nella scissione del substrato polisaccaridico, non si è fatto alcun tentativo per rappresentare le orbite elettroniche degli atomi ché si fonderebbero in una massa solida.

Il ripiegamento della molecola proteica si può verificare già mentre le particelle intracellulari (chiamate ribosomi) stanno sintetizzando la catena polipeptidica in formazione. Il messaggio genetico che determina la sequenza amminoacidica di ogni proteina è codificato nell'acido ribonucleico « messaggero » (RNA-m). Si ritiene che diversi ribosomi scorrano simultaneamente lungo questa molecola a lunga catena, interpretando il messaggio a mano a mano che procedono. Presumibilmente l'RNA messaggero per il lisozima contiene 129 « tripletti codificanti », uno per ogni amminoacido. Gli amminoacidi sono portati sul luogo della sintesi da molecole di RNA « di trasporto » (indicato con RNA-s, e rappresentato nello schema in colore scuro). **La figura mostra in che modo la catena del lisozima dovrebbe allungarsi a mano a mano che il ribosoma percorre la molecola dell'acido ribonucleico « messaggero ». Nello schema qui sopra, ipoteticamente, il polipeptide viene mostrato mentre si piega direttamente nella sua configurazione finale.**

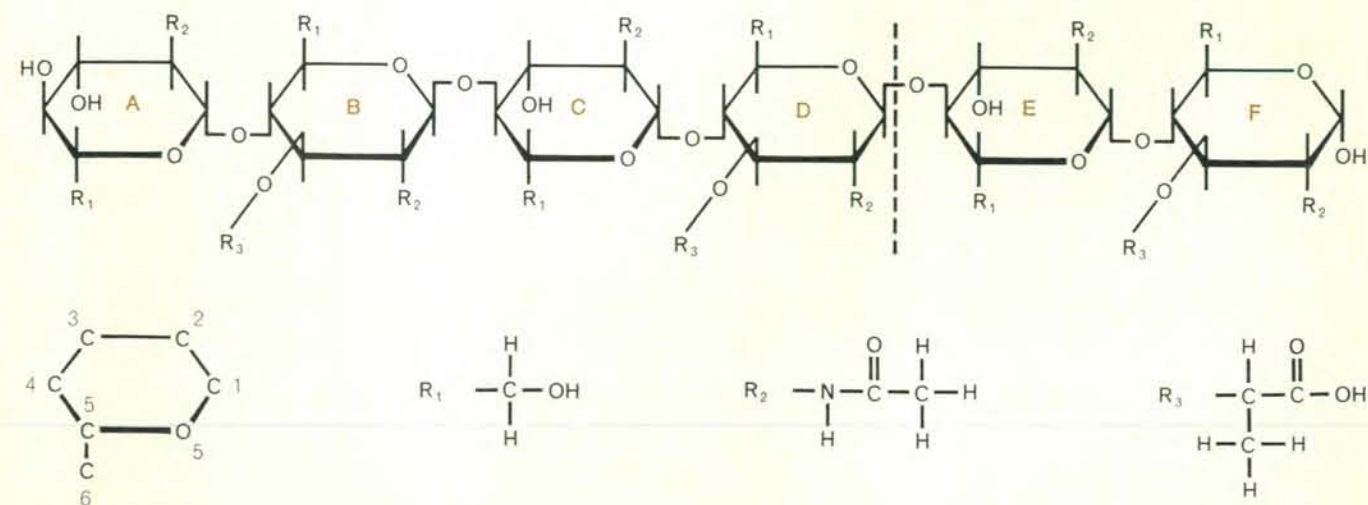
cristalli della proteina lungo i canalicoli pieni d'acqua che decorrono entro i cristalli.

Fortunatamente si può studiare in un modo molto semplice il mutamento che sopravviene nella struttura cristallina. Un'immagine utilizzabile dei cambiamenti della densità elettronica può essere calcolata dalle misure dei cambiamenti in ampiezza delle onde diffratte, presumendo che le loro relazioni di fase non siano diverse da quelle determinate per i cristalli della proteina pura. L'immagine mostra la differenza di densità elettronica tra cristalli che contengono le molecole di zucchero aggiunte e quelle che non ne contengono. In questo modo è stato studiato il legame al lisozima di otto differenti amminozuccheri facendo uso di un potere risolutivo molto basso. I risultati hanno dimostrato che gli zuccheri si legano al lisozima in un certo numero di siti nella fessura dell'enzima. La ricerca fu spinta a un piú alto grado di risoluzione nel tentativo di scoprire l'esatta natura del legame. Fortunatamente questi studi, proseguiti a 2 angstrom di risoluzione (il che richiese la misura di 10.000 onde diffratte) hanno ora dimostrato in dettaglio come il trisaccaride composto da 3 unità NAG sia legato all'enzima.

Il trisaccaride occupa la metà superiore della fessura ed è legato all'enzima da un certo numero di interazioni che possono essere spiegate con l'aiuto della figura alle pagine 52-53.

In tale illustrazione, 6 importanti legami a idrogeno che saranno ora descritti sono contraddistinti da numeri.

Le interazioni basilari sembrano essere quelle che interessano il gruppo acetammidico del residuo saccaridico *C* (*3° dall'alto*), il cui atomo di carbonio in posizione non è legato a un altro residuo saccaridico. Vi sono legami a idrogeno tra il gruppo CO di questa catena laterale e il gruppo NH del residuo amminoacido 59 nella catena principale della molecola dell'enzima (*legame n° 1*) e ancora tra il gruppo NH (sempre della catena acetammidica) e il gruppo CO del residuo 107 (alanina) nella catena principale della molecola dell'enzima (*legame n° 2*).

Il gruppo terminale CH_3 del residuo acetammidico si pone inoltre in contatto con la catena laterale del residuo amminoacidico 108 (triptofano). Legami a idrogeno (*n° 3 e n° 4*) sono anche formati tra i due atomi di ossigeno adiacenti agli atomi di carbonio 6 e 3 del residuo saccaridico *C* e le catene laterali dei residui amminoacidi 62 e 63 (che sono entrambi triptofano).

La molecola polisaccaridica che si trova nelle pareti di certe cellule batteriche è il substrato che viene rotto dalla molecola del lisozima. Il polisaccaride consiste di residui alternati di due tipi di amminozuccheri: N-acetilglucosammina (NAG) e acido N-acetilmuramico (NAM). Nel tratto di catena polisaccaridica mostrata qui, A, C e E sono residui NAG; B, D e F sono residui NAM. A sinistra è rappresentato lo schema di numerazione per identificare i vari atomi in ogni struttura ciclica saccaridica. I 6 anelli del polisaccaride si adattano nella fessura della molecola di lisozima, che effettua una scissione tra gli anelli D e E (v. fig. pp. 52 e 53).

Un altro legame a idrogeno (*n° 5*) è formato tra il gruppo laterale acetammidico del residuo saccaridico *A* e il residuo 101 (acido aspartico) nella molecola dell'enzima. Dal residuo 101 si diparte un legame a idrogeno (*n° 6*) che va all'ossigeno adiacente all'atomo di carbonio in posizione 6 del residuo saccaridico *B*. Oltre a queste interazioni polari, vi è un grande numero di interazioni non polari che sono piú difficili da riassumere in breve. Tra le piú importanti interazioni non polari, tuttavia, si ricordano quelle tra il residuo saccaridico *B* e il sistema ciclico del residuo 62 (triptofano); per queste si riserva una speciale menzione perché sono influenzate da un lieve cambiamento nella conformazione della molecola dell'enzima che si verifica quando vi è legato il trisaccaride.

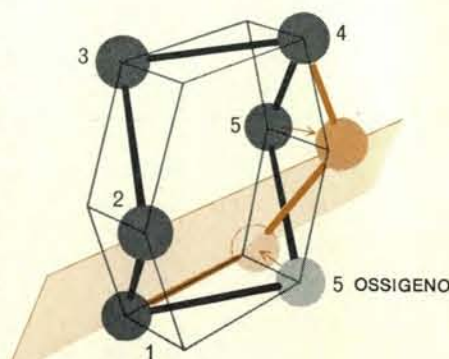
La mappa della densità elettronica, che mostra il cambiamento di densità elettronica quando il trisaccaride composto di 3 unità NAG (tri-NAG) è legato nel cristallo della proteina, rivela chiaramente che alcune parti della molecola dell'enzima si sono mosse l'una rispetto all'altra. Questi mutamenti di configurazione sono in gran parte limitati alla porzione di enzima posta a sinistra della fessura. Tale porzione si inclina piú o meno, nel suo insieme, in modo da restringere lievemente la fessura stessa. Il risultato è che la catena laterale del residuo 62 si muove di circa 0,75 angstrom verso la posizione del residuo saccaridico *B*.

Il complesso enzima-substrato

A questo punto la nostra eccitazione aumentò. Saremo in grado di dire come agisce l'enzima? A mio parere, sí. Sfortunatamente però non possiamo seguire questo processo dinamico nelle nostre immagini a raggi X. Dobbiamo dedurre ciò che probabilmente accade attraverso le nostre immagini statiche. Prima di tutto è chiaro che il complesso formato dal tri-NAG e dall'enzima non è il complesso enzima-substrato interessato nella catalisi, poiché è stabile. Si sa che a basse concentrazioni il tri-NAG si comporta come un inibitore piuttosto che come un substrato che viene scisso; è chiaro che poco fa abbiamo descritto il modo in cui esso si lega come inibitore. È rilevante osservare, però, che il tri-NAG riempie solo metà della fessura. Emerge quindi la possibilità che altri residui saccaridici che riempiano il resto della fessura siano necessari per la formazione del complesso reattivo enzima-substrato.

Si pone come assunto che il modo osservato di legarsi del tri-NAG come inibitore si accompagna a interazioni con la molecola enzimatica che svolgono pure un'azione nella formazione del complesso funzionante enzima-substrato.

Di conseguenza abbiamo costruito un modello che mostra che si possono aggiungere altri tre residui saccaridici al tri-NAG in modo tale che si formino interazioni soddisfacenti tra gli atomi del substrato proposto e l'enzima. C'è una sola difficoltà: l'atomo di carbonio 6 e il suo adiacente atomo di ossigeno nel residuo saccaridico *D* si troverebbero a un contatto piuttosto disagevole con certi atomi della molecola enzimatica, a meno che questo residuo saccaridico non venisse distorto un poco dalla sua configurazione piú stabile « a sedia » in una configurazione in cui gli atomi di carbonio 1, 2 e 5 e l'atomo di ossigeno 5 giacciano tutti in uno stesso piano (*v. figura qui a destra*).

A questo punto parve ragionevole presumere che il modello mostrasse la struttura del complesso funzionante tra l'enzima e un esasaccaride. Il problema successivo fu di decidere quale dei cinque legami glicosidici poteva venire rotto sotto l'influenza dell'enzima. Fortunatamente la risposta saltò subito all'occhio. Come abbiamo visto, il polisaccaride della parete cellulare è formato alternativamente da residui saccaridici di due tipi, NAG e NAM, e il legame rotto è quello fra NAM e NAG. Diventò quindi importante decidere quale dei sei residui saccaridici del nostro modello poteva essere NAM, il quale è uguale a NAG eccetto che per la catena laterale costituita da un residuo dell'acido lattico congiunta all'atomo di carbonio in posizione 3. La risposta fu immediata. Il residuo saccaridico *C* non può essere NAM perché non c'è spazio per farci stare questo gruppo di atomi in piú. Perciò il legame rotto deve essere quello fra i residui saccaridici *B* e *C* o *D* ed *E*. Avevamo già osservato che il legame gli-

Configurazione « a sedia » (in grigio). **È quella normalmente assunta dagli anelli di amminozuccheri presenti nel substrato polisaccaridico. Quando si lega col lisozima però l'anello D viene distorto** (indicato in colore) **cosicché gli atomi di carbonio 1, 2, 5, e l'atomo di ossigeno 5 giacciono in uno stesso piano. La distorsione evidentemente collabora alla rottura del substrato sotto l'anello D.**

cosidico fra i residui *B* e *C* è stabile quando il tri-NAG è legato; quindi il legame che deve essere rotto è quello tra i residui saccaridici *D* ed *E*. A questo punto fu possibile ricercare l'origine dell'attività catalitica in prossimità di questo legame.
J.A. Rupley dell'Università dell'Arizona aveva dimostrato che il legame rotto sotto l'influenza del lisozima era quello tra l'atomo di carbonio 1 e l'ossigeno impegnato nel legame glicosidico e non quello tra lo stesso ossigeno e l'atomo di carbonio 4. I gruppi di atomi che sembrerebbero piú reattivi nelle vicinanze di questo legame sono le catene laterali del residuo 52 (acido aspartico) e del residuo 35 (acido glutammico).
Uno degli atomi di ossigeno del residuo 52 dista circa 3 angstrom dall'atomo di carbonio 1 del residuo saccaridico *D*, come pure dall'atomo di ossigeno 5 di tale residuo.
Il residuo 35, d'altro canto, dista circa 3 angstrom dall'ossigeno impegnato nel legame glicosidico. Inoltre questi due residui amminoacidici hanno un ambiente circostante nettamente diverso. Il residuo 52 ha un buon numero di vicini polari e sembra trovarsi in una rete di legami a idrogeno che lo collegano con i residui 46 e 59 (entrambi asparagina) e, attraverso essi, con il residuo 50 (serina). In questa situazione il residuo 52 probabilmente cede un atomo di idrogeno terminale e resta cosí carico negativamente, anche in condizioni estreme, per esempio in soluzione decisamente acida, mentre il residuo 35, circondato da gruppi non polari, probabilmente trattiene il suo atomo di idrogeno terminale. Un po' di riflessione suggerisce che l'influenza concomitante di questi due residui amminoacidici, con l'apporto dato dalla distorsione del residuo saccaridico *D* già sopra detto, è sufficiente per spiegare l'attività catalitica del lisozima.
Gli eventi che portano alla rottura della parete cellulare batterica seguono probabilmente il seguente corso (*v. figura in questa pagina*): dapprima una molecola di lisozima si attacca alla parete cellulare batterica interagendo con 6 residui esposti di amminozucchero. In questo processo, il residuo saccaridico *D* subisce una lieve distorsione rispetto alla sua configurazione normale. Quindi il residuo 35 trasferisce il suo atomo di idrogeno terminale, sotto forma di ione idrogeno, all'ossigeno impegnato nel legame glicosidico, determinando cosí la rottura del legame tra l'ossigeno e l'atomo di carbonio 1 del residuo saccaridico *D*. Ciò crea uno ione carbonio (C^{+}) con carica positiva là dove l'ossigeno è stato staccato dall'atomo di carbonio 1. Infine questo ione carbonio si stabilizza interagendo con la catena laterale dell'acido aspartico del residuo 52 che porta carica negativa, fino a quando può combinarsi con uno ione ossidrile (OH^{-}) che capita nelle vicinanze per diffusione, dall'acqua circostante, completando la reazione. La molecola di lisozima allora si allontana lasciando una parete cellulare lesionata.
Non è chiara, da questa descrizione, la parte che la distorsione del residuo saccaridico *D* ha nella reazione, ma in pratica tale parte deve esserci per una ragione molto interessante. R. H. Lemieux e G. Huber del National Research Council del Canada hanno dimostrato nel 1955 che quando in una molecola saccaridica, come il NAG, è presente uno ione carbonio nella posizione del carbonio 1, essa tende ad assumere la stessa configurazione alla quale viene forzata nell'anello *D*.
Questo sembra quindi essere un esempio di attivazione del substrato per distorsione. Il legame del substrato all'enzima favorisce la formazione dello ione carbonio nell'anello *D* che avrebbe un compito importante nella reazione.
Apparirà chiaro da questa esposizione che, pur non avendo veduto il lisozima in azione, siamo riusciti a definire un quadro particolareggiato del modo in cui esso può agire. C'è già una somma di constatazioni chimiche in accordo con questo quadro e possiamo essere sicuri che le modalità d'azione del lisozima saranno presto messe completamente in chiaro.
Ma la cosa più importante è la constatazione che ora esistono metodi per scoprire i segreti dell'attività enzimatica.

La scissione del substrato da parte del lisozima sembra avere a che fare con la prossimità e l'attività di due catene laterali, il residuo 35 (acido glutammico) e il residuo 52 (acido aspartico). Si può ritenere che uno ione idrogeno (H+) si stacchi dal gruppo OH del residuo 35 e si attacchi all'atomo di ossigeno che congiunge gli anelli D ed E rompendo cosí il legame tra i due anelli. Questa operazione lascia carico positivamente l'atomo di carbonio 1 dell'anello D, e si determina cosí la formazione di uno ione carbonio. Il carbonio 1 viene stabilizzato in questa condizione dalla catena laterale che il residuo 52 carica negativamente. L'acqua circostante fornisce un ossidrile (OH−) che si combina con lo ione carbonio e uno ione idrogeno (H+) che rimpiazza quello perso dal residuo 35.
Le due parti del substrato poi si allontanano lasciando l'enzima libero di scindere un'altra catena polisaccaridica.